Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXVIII. Jahrgang. 1925. Viertes Heft.

Das Nernstsche Wärmetheorem.

Eine kurze Darstellung seines Inhaltes und seiner Bedeutung[1]).

Von Dr. F. Henning, Professor an der Universität Berlin.

Das von W. Nernst im Jahre 1906 aufgestellte Wärmetheorem ist ebenso wie der erste und zweite Hauptsatz der Thermodynamik ein aus der Erfahrung erschlossenes Prinzip, das nicht aus anderen Sätzen abgeleitet werden kann. Es ist aus dem Boden der physikalischen Chemie hervorgegangen und knüpft zunächst an die Helmholtzsche Gleichung an, die als Folge der beiden ersten Hauptsätze die Affinität A einer Reaktion mit ihrer Wärmetönung U und der zugehörigen Temperatur T durch die Beziehung

$$A - U = T\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_p \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

verbindet.

Die Affinität A ist eine Größe, welche in nahem Zusammenhang mit der maximalen Arbeit A_m steht, die bei dem isotherm verlaufenden Prozeß geleistet werden kann. Affinität und maximale Arbeit sind praktisch gleich, falls bei der Reaktion nur unwesentliche Volumenänderungen auftreten, wie es der Fall ist, wenn sich die Teilnehmer der Reaktion in kondensiertem (d. h. festem oder flüssigem) Zustande befinden. Bedeutet ΔV den Volumenzuwachs bei der Reaktion unter der Bedingung, daß nach ihrem Ablauf Druck und Temperatur denselben Wert haben wie vorher, so ist ohne Einführung von Vereinfachungen $A = A_m - p \cdot \Delta V$.

Die Wärmetönung U ist die Wärmemenge, welche bei der Reaktion frei wird, falls diese unter konstantem Druck stattfindet und die Temperatur zum Schluß die gleiche ist wie zu Anfang. Der Betrag der Wärmetönung hängt wenig von der Höhe des Druckes p ab, wohl aber von der Temperatur T. Z. B. läßt sich bei Bildung von 461 g Bleijodid (1 Gramm-Molekül) aus 207 g Blei (1 Gramm-Molekül) und 254 g Jod (2 Gramm-Moleküle) die Wärmetönung in Abhängigkeit von der Temperatur in einem gewissen Bereich durch

$$U = 41825 + 3{,}1 \cdot 10^{-4}\, T^2 \text{ cal/Mol} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

darstellen.

Affinität A und Wärmetönung U sind Energiegrößen. Beide haben für gewöhnlich sehr verschiedene Werte. So beträgt z. B. für die Umwandlung von Wasser in Eis bei 0^0 (genauer bei $+0{,}0074^0$) die Wärmetönung $18 \cdot 80 = 1440$ cal/Mol, während die maximale Arbeit nahezu und die Affinität vollständig null ist. Die Umwandlung verläuft dann durch eine Kette von Gleichgewichtszuständen, d. h. sie kann unter Bindung von Wärme rückgängig gemacht werden, ohne daß in irgendwelchen anderen Körpern Zustandsänderungen stattfinden. Die Entropie des Systems, zu dem auch der Körper gehört, der die Wärme aufnimmt oder abgibt, ändert sich hierbei nicht. Bei Umwandlung von unterkühltem Wasser in Eis ist aber die Affinität von Null verschieden und zwar positiv, während die Wärmetönung nahezu den vorher angegebenen Wert besitzt. Die Affinität ist dann mit großer Näherung darstellbar durch

[1]) Eine etwas elementarer gehaltene Darstellung desselben Gegenstandes hat der Verfasser in dem Lehrbuch der Physik von A. Berliner, 3. Aufl. 1924, dargeboten. *Die Schriftleitung.*

$R\,T\,ln\frac{p_s}{p'_s}$, wenn p_s den Sättigungsdruck des Dampfes über dem unterkühlten Wasser von T^0 (in der absoluten Skala) und p'_s den Sättigungsdruck des Dampfes über Eis von T^0 bedeutet. Sie ist ein zahlenmäßiger Ausdruck für die Heftigkeit, mit der eine Umwandlung oder eine Reaktion stattfindet.

Nach dem Nernstschen Theorem nähern sich unter der Einschränkung, daß sich alle Reaktionsteilnehmer im kondensierten Zustand befinden, im Bereich sehr tiefer Temperaturen die sonst so verschiedenen Größen der Affinität und Wärmetönung einander asymptotisch und sind im absoluten Nullpunkt völlig gleich. Nernst hat seinen Satz zunächst in der Form ausgesprochen:

$$\lim_{T=0}\left(\frac{dA}{dT}\right)=0 \text{ und } \lim_{T=0}\left(\frac{dU}{dT}\right)=0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3a)\ (3b)$$

Aus der ersten dieser Gleichungen, die sowohl für konstanten Druck als auch für konstantes Volumen gelten, folgt zusammen mit Gleichung (1), daß am absoluten Nullpunkt nicht nur $A-U=0$, sondern daß auch $\frac{A-U}{T}=0$ ist. Zur Abkürzung werde dieses letztere Ergebnis in der Form

$$\frac{A_0-U_0}{T_0}=0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

geschrieben, indem der Index o die Zugehörigkeit zum absoluten Nullpunkt andeutet.

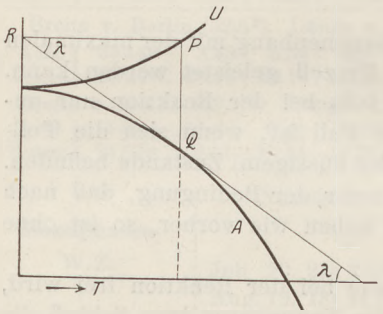


Fig. 1.

Den Inhalt der Gleichungen (1) und (3) veranschaulicht Fig. 1, in der die Energiegrößen U und A als Funktionen der Temperatur dargestellt sind. Außer der Tatsache, daß für $T=0$ A und U einander gleich und ihre Temperaturkoeffizienten Null sind, ist aus der Figur zu entnehmen, daß der Tangens des Winkels λ einerseits gleich $-\frac{dA_T}{dT}$ und anderseits gleich $\frac{PQ}{PR}=\frac{U_T-A_T}{T}$ ist. Ist Punkt P der U-Kurve und Punkt Q der A-Kurve bekannt, so kann also die Tangente an die A-Kurve im Punkte Q konstruiert und somit die Richtung, in der die Kurve bei Q verläuft, angegeben werden. Man kann hierauf die vollständige Konstruktion der A-Kurve gründen.

Auf arithmetischem Wege kommt man zu dem entsprechenden Ergebnis, wenn man zunächst Gleichung (1) in der Form $d\left(\frac{A}{T}\right)=-\frac{U\,dT}{T^2}$ schreibt und sodann $U=U_0+(U-U_0)$ setzt. In die durch Integration dieser Gleichung gewonnene Beziehung

$$\frac{A}{T}=\frac{A_0}{T_0}-\frac{U_0}{T_0}+\frac{U_0}{T}-\int_{T_0}^{T}\frac{U-U_0}{T^2}\,dT$$

führt man Gleichung (4) ein und erhält dann

$$A=U_0-T\int_{T_0}^{T}\frac{U-U_0}{T^2}\,dT \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Die Größe unter dem Integral bezieht sich, dem Index der Gleichung (1) entsprechend, auf konstanten Druck und ist durch die spezifischen Wärmen C_p der Reaktionsteilnehmer darstellbar. Erfolgt nämlich die Reaktion nach der Gleichung

$$n_1 B_1+n_2 B_2+\ldots=n_1' B_1'+n_2' B_2'+\ldots \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

in der die Größen n angeben wieviel Mole des Stoffes B an der Reaktion beteiligt sind, so ist nach dem ersten Hauptsatz

$$U - U_o = \int_{T_o}^{T} \Sigma (n C_p - n' C_p') \, dT \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

zu setzen. Die Gleichungen (5) und (7) lehren also, daß man bei Kenntnis der spezifischen Wärmen C_p aller Reaktionsteilnehmer in dem ganzen Temperaturgebiet zwischen T und dem absoluten Nullpunkt sowie bei Kenntnis der Wärmetönung U der Reaktion bei irgend einer Temperatur zwischen T und T_o die Affinität A vollständig berechnen kann. Dann ist es auch möglich, aus reinen thermischen Daten die Temperatur T_y zu ermitteln, bei der $A = 0$ ist und bei der sich also die Reaktion, wie das oben gegebene Beispiel des erstarrenden Wassers erläutert, im Gleichgewichtszustand befindet.

Die Ausführung des Integrals der Gleichung (5) ist besonders einfach, wenn U als Potenzreihe von T angenommen wird. Aus Gleichung (3b) folgt, daß in dieser Reihe der Faktor der ersten Potenz von T null sein muß, so daß also $U = U_o + \beta T^2 + \gamma T^3 \ldots$ zu setzen ist. Dann erhält man $A = U_o - \beta T^2 - \frac{1}{2} \gamma T^3 - \ldots$

Für das vorher genannte Beispiel der Bildung von Bleijodid, bei dem sich alle Reaktionsteilnehmer in kondensierter Phase befinden, folgt also [vgl. Gleichung (2)]

$$A = 41\,825 - 3{,}1 \cdot 10^{-4} T^2 \text{cal/Mol}.$$

Die Gleichgewichtstemperatur T_y (für $A = 0$) würde nach dieser Gleichung sehr hoch liegen und sich außerhalb des Gültigkeitsbereichs der empirischen Gleichung (2) befinden. Die Temperatur T_y ist hier von untergeordneter Bedeutung im Vergleich zur Berechnung von A selbst. Die der Affinität in diesem Falle praktisch gleichwertige maximale Arbeit kann in dem Blei-Jod-Element unmittelbar als elektrische Energie in die Erscheinung treten. Die von einem Mol geleistete maximale Arbeit ist dann darstellbar als das Produkt aus der in Volt gemessenen elektromotorischen Kraft E des Elementes und der Zahl der Coulomb, die von dem Mol transportiert werden. Diese Zahl, der reziproke Wert des elektrochemischen Äquivalentes, ist für ein n-wertiges Molekül $96\,494 \cdot n$, d. h. ein Mol eines n-wertigen Stoffes wird bei der Elektrolyse während einer Sekunde befördert, wenn die Stromstärke $96\,494\, n$ Amp. beträgt. Somit ist $A_m = 96\,494\, n \cdot E \frac{\text{Wattsek.}}{\text{Mol}} = \frac{96\,494}{4{,}1842} n \cdot E \frac{\text{cal}}{\text{Mol}}$. Setzt man nun in dem genannten Beispiel, für das $n = 2$ ist, $A_m = A$, so erhält man lediglich auf Grund von Wärmemessungen die elektromotorische Kraft des Elementes, dessen stromliefernder Prozeß durch die Gleichung $Pb + J_2 = PbJ_2$ dargestellt wird, zu:

$$E = 0{,}9074 - 0{,}57 \cdot 10^{-8} T^2 \text{Volt}.$$

Diese Gleichung steht in befriedigender Übereinstimmung mit der unmittelbaren elektrischen Messung.

Zur Berechnung der Gleichgewichtstemperatur aus rein thermischer Beobachtung bietet der Umwandlungsprozeß des monoklinen Schwefels in die rhombische Kristallform ein gutes Beispiel. Die Wärmetönung dieses Prozesses ist darstellbar durch

$$U = 50{,}3 + 36{,}8 \cdot 10^{-5} T^2 \text{ cal/Mol}.$$

Hieraus folgt mittels des Nernstschen Theorems die Affinität oder maximale Arbeit zu

$$A = 50{,}3 - 36{,}8 \cdot 10^{-5} T^2 \text{ cal/Mol}$$

und die Temperatur des Gleichgewichtes aus $A = 0$ zu $T_y = 369^0$ oder $t_y = 96^0$ C, während die unmittelbare Beobachtung $t_y = 95^0$ C ergeben hat.

Die hohe Bedeutung des Nernstschen Theorems kommt weiter darin zum Ausdruck, daß man aus der Wärmetönung U einer Reaktion und den spezifischen Wärmen C_p der Reaktionsteilnehmer berechnen kann, wie groß im Gleichgewichtszustand deren Partialdrucke sind, d. h. welche Massen sich bei gegebener Temperatur und gegebenem Druck in der Volumeneinheit günstigsten Falles umsetzen können.

Allerdings muß noch die sogenannte chemische Konstante der Reaktionsteilnehmer, auf die sogleich einzugehen ist, bekannt sein. Dann aber gibt das Nernstsche Theorem über das wichtige Massenverhältnis nicht nur für kondensierte Systeme sondern für ganz beliebige Systeme, also auch für Gase, Auskunft und zwar nicht nur am absoluten Nullpunkt, sondern bei jeder Temperatur. Es läßt sich also auf Grund der genannten Größen z. B. berechnen, wieviel Mole Ammoniak (NH_3) sich bilden, wenn ein Mol Stickstoff der Einwirkung von drei Molen Wasserstoff ausgesetzt wird. Der ausführliche Gedankengang zur Ableitung dieser Folgerung ist in Kürze nicht darstellbar. Es muß genügen, hier nur das Ergebnis in Form von zwei Gleichungen mitzuteilen. Bezeichnet man in Anlehnung an die obengenannte Reaktionsgleichung (6) die Partialdrucke der an der Reaktion teilnehmenden gasförmigen Stoffe mit p (vor der Reaktion) und p' (nach der Reaktion) und ihre chemischen Konstanten entsprechend mit i und i', so gilt

$$ln\frac{p_1'^{n_1'} \cdot p_2'^{n_2'} \dots}{p_1^{n_1} \cdot p_2^{n_2} \dots} = \frac{U_o}{RT} - \frac{1}{R}\int_o^T \frac{U - U_o}{T^2} dT + \Sigma(n'i' - ni) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Hierbei sind U und U_o die Wärmetönungen der gasförmigen Bestandteile oder, falls es sich um kondensierte Systeme handelt, der gesättigten Dämpfe der Kondensate. Die chemische Konstante i ist durch die Gleichung für den Sättigungsdruck p_s der einzelnen Stoffe:

$$ln\, p_s = -\frac{L_o}{RT} + \frac{1}{R}\int_o^T \frac{L - L_o}{T^2} dT + i \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

definiert und empirisch bestimmbar. L und L_o bedeuten die Verdampfungswärmen des Stoffes bei der Temperatur T und dem absoluten Nullpunkt. Aus thermischen Messungen und Beobachtungen von Dampfdrucken ist also gemäß Gleichung (8) und (9) für jede Temperatur T die Größe $\frac{p_1'^{n_1'} \cdot p_2'^{n_2'} \dots}{p_1^{n_1} \cdot p_2^{n_2} \dots}$ zu ermitteln, die im Falle der Bildung des Ammoniaks aus Wasserstoff und Stickstoff die Form $\frac{p^2_{NH_3}}{p_{N_2} \cdot p^3_{H_2}}$ oder bei Annahme der Gesetze des idealen Gases $\frac{8}{27}\frac{1}{P^2}\cdot\frac{x^2 \cdot (4-x)^2}{(2-x)^4}$ annimmt, wenn P den Gesamtdruck im Reaktionsraum bezeichnet und x die Molzahl Ammoniak angibt, die im Gleichgewichtszustand bei Berührung von einem Mol Stickstoff mit drei Molen Wasserstoff entstehen.

Aus dem Nernstschen Wärmesatz folgen ferner eine ganze Reihe rein physikalischer Sätze. So liefert Gleichung (7) zusammen mit (3b) die Beziehung

$$\lim_{T=0} \Sigma n C_p = \lim_{T=0} \Sigma n' C_p' \quad , \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

d. h. am absoluten Nullpunkt gilt das Koppsche Gesetz von der Additivität der Molekularwärmen völlig streng. Da nach dem ersten und zweiten Hauptsatz $\left(\frac{\partial A_m}{\partial T}\right)_v = -\Delta S$ ist, wenn ΔS die Entropieänderung desselben isothermen Prozesses bezeichnet, für den die maximale Arbeit durch A_m gegeben ist, so folgt mit Hilfe von (3a) weiter, daß am absoluten Nullpunkt die kondensierten Systeme keinerlei Entropieänderung erleiden, welche isotherme Zustandsänderung man mit ihnen auch vornehmen mag.

Insbesondere ist hieraus zu schließen, daß

$$\lim_{T=o}\left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T = 0 \text{ und } \lim_{T=o} \lim \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = 0. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Mittels der bekannten thermodynamischen Beziehungen

$$\left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v \text{ und } \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \text{ sowie } C_p - C_v = T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$$

führen die Gleichungen (11) zu der Folgerung, daß am absoluten Nullpunkt weder die thermische Ausdehnung $\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$ noch die thermische Druckänderung $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$ von Null verschieden ist und daß die spezifischen Wärmen bei konstantem Volumen C_v und bei konstantem Druck C_p einander völlig gleich sind. Aus ähnlichen Überlegungen ergibt sich, daß neben der thermischen Ausdehnung und der thermischen Drucksteigerung auch alle anderen physikalischen Eigenschaften der Körper wie z. B. der elektrische Widerstand, die Thermokraft, die Magnetisierbarkeit usw. am absoluten Nullpunkt unabhängig von der Temperatur werden und daß jedes Merkmal für eine Temperaturänderung um so mehr verschwindet, je mehr man sich dem absoluten Nullpunkt nähert. Darüber hinaus läßt sich mittels des Nernstschen Wärmesatzes ferner beweisen, daß es überhaupt nicht möglich ist, den absoluten Nullpunkt zu erreichen. Der Nernstsche Wärmesatz ist deshalb oft als das Prinzip von der Unerreichbarkeit des absoluten Nullpunktes bezeichnet worden. In der Tat lassen sich aus diesem Prinzip alle Ergebnisse des Nernstschen Theorems ableiten.

Eine andere wichtige Fassung des Nernstschen Wärmesatzes, die über die ursprüngliche Formulierung hinausgeht, wurde von M. Planck gegeben. Sie sagt aus, daß die Energie aller kondensierten Körper am absoluten Nullpunkt den Wert Null hat. Diese Fassung stimmt überein mit Ergebnissen der Quantentheorie, die zu der Folgerung geführt hat, daß am absoluten Nullpunkt die spezifische Wärme aller kondensierten Körper Null ist. Auf die sehr interessante quantentheoretische Auslegung des Nernstschen Theorems kann hier nicht näher eingegangen werden.

Einfache Erklärung der Koppelungsschwingungen.

Zweiter Beitrag zur Schwingungslehre*).

Von Dr. Curt Fischer.

(Mitteilung der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Berlin.)

1. Das Koppelungsgesetz. Zwei Schwingungsgebilde seien aufeinander abgestimmt und dann miteinander gekoppelt. Wird nun der eine Schwinger in Schwingung versetzt, so schwingen die beiden Schwinger nicht mehr mit der ursprünglichen Schwingzahl weiter; vielmehr sind dann im allgemeinen in jedem der beiden Schwinger zwei Schwingungen nachzuweisen, die eine mit größerer, die andere mit kleinerer Schwingzahl als die ursprüngliche war. Hatten die Schwinger vor der Koppelung verschiedene Schwingzahlen, so bewirkt die Koppelung, daß ihre Schwingzahlen noch weiter auseinanderrücken.

Diese Koppelungserscheinung wird den meisten Lesern aus der Lehre von den elektrischen Schwingungskreisen bekannt sein. Sie tritt uns aber auch auf allen übrigen Gebieten der Physik, die auf Schwingungen zurückgeführt werden, auf Schritt und Tritt entgegen; ihre Erklärung hat also eine grundlegende Bedeutung. Mit den Erklärungsversuchen soll sich die vorliegende Arbeit beschäftigen.

2. Quellenangaben. Die Theorie von zwei miteinander gekopppelten gedämpften Schwingern wurde durch die aufeinanderfolgenden Arbeiten von Overbeck, Drude, M. Wien, Macku und Kiebitz immer vollständiger entwickelt. Der Grundzug aller dieser theoretischen Untersuchungen ist der, daß die beiden Differentialgleichungen für die Bewegung der beiden Schwinger zu einer linearen, homogenen Differential-

*) Der erste Beitrag findet sich im dritten Heft d. Jahrgangs S. 113.

gleichung vierten Grades vereinigt werden. Die vollständige Auflösung dieser Gleichung erfordert aber eine so umständliche Rechnung, daß das Physikalische dabei ganz in den Hintergrund tritt. Es bedarf deshalb eines sehr tiefen Eindringens in den ganzen Sachverhalt, wenn nicht das Ergebnis der Rechnung ebenso überraschend wirken soll, wie die physikalische Erscheinung („das Oberbeck sche Phänomen") selbst. Unsere Aufgabe soll demgegenüber nun die sein, zu untersuchen, wie man auch ohne alles Rechenwerk zur Erklärung der Koppelungsschwingungen kommen kann. Die Lösung dieser Aufgabe erscheint wichtig für den Experimentalphysiker, der den Naturgesetzen dadurch auf die Spur zu kommen sucht, daß er sich möglichst tief in seine Geräte hineinfühlt; sie ist aber auch wichtig für den Lehrer, der diese Frage im Unterricht behandelt sehen will. Seitdem der Verfasser [1]) vor etwa 20 Jahren die Drude schen Rechenergebnisse über gekoppelte elektrische Schwingungskreise durch eingehende Versuche nachgeprüft hat, hat er die Frage nach einer solchen Erklärung nie ganz aus dem Auge gelassen. Die Literatur über diesen Punkt ist sehr dürftig. Man sieht sich im wesentlichen angewiesen auf das, was man hier und da in den Veröffentlichungen zwischen den Zeilen lesen kann, und was man gesprächsweise von gewissen Anfängen einer Veranschaulichung der Koppelungsschwingungen hört. Zwei verschiedene Anschauungsarten kehren dabei immer wieder. Die eine scheint ihren Ursprung in einer Vorlesung von P. Drude über elektrische Schwingungen zu haben, die andere findet man angedeutet in den Arbeiten, die sich mit mechanischen Schwingern befassen, z. B. bei M. Wien [2]), E. Mach [3]) und H. J. Oosting [4]). Es soll hier zunächst versucht werden, die Grundgedanken dieser zwei Erklärungsarten so weit wie möglich herauszuarbeiten, so daß ihre Grenzen deutlich zutage treten. Alsdann soll aber versucht werden, eine dritte anschauliche Herleitung der Koppelungserscheinungen zu geben, die wohl den meisten etwas Neues bieten dürfte. Vorweg sei bemerkt, daß die folgenden Darstellungen, die nur mit Schulmathematik arbeiten, nebenher sorgfältig geprüft sind an Hand der jeweiligen Form der Differentialgleichungen. Dazu eignete sich besonders die Rechnungsart von F. Kiebitz [5]).

3. Die erste Erklärungsart. Am häufigsten werden die Erscheinungen etwa folgendermaßen erklärt. Von zwei aufeinander abgestimmten Schwingern werde der eine in Schwingung versetzt ohne weiteren Energienachschub. Bei ganz loser Koppelung beider weiß man, daß die Energie auf den zweiten Schwinger übertragen wird, und wenn dieser weniger gedämpft ist als der erste, so überdauert die Schwingung im zweiten Schwinger die im ersten. Bei fester Koppelung und nicht zu großer Dämpfung ist der Vorgang anfangs annähernd derselbe, nur daß hier der Energieverlust des ersten Schwingers wegen der Energieabgabe an den zweiten größer geworden ist. Sobald aber im ersten Schwinger alles abgeklungen ist, wirkt der weiterschwingende zweite Schwinger als Erreger für den ersten, er gibt seine Energie an ihn zurück; und so pendelt die Energie mehrfach zwischen beiden Schwingern hin und her. Tatsächlich beobachtet man diesen Energieaustausch unmittelbar bei den bekannten Oberbeck schen Pendeln [6]), bei Schallerregern in Form von Schwebungen, elektrisch durch Oszillogramme.

Sehen wir zunächst von der Dämpfung durch Reibung ab, so ändert sich die jeweilige Ausweichung y des ersten Schwingers aus seiner Ruhelage nicht mehr rein sinusförmig (abgesehen von der Dämpfung), entsprechend der Gleichung:

$$\xi_1 = A \sin \frac{2\pi}{\tau} t,$$

[1]) C. Fischer, Ann. d. Phys. **22**, 265, 1907.
[2]) M. Wien, Wied. Ann. **61**, 151, 1897.
[3]) E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwickelung (6). 1908, S. 306 ff.
[4]) H. J. Oosting, Diese Zeitschr. **28**, 1915, S. 126 und 240 und **29**, 1916, S. 126.
[5]) F. Kiebitz, Ann. d. Phys. IV, **40**, 138, 1913.
[6]) Diese Zeitschr. I, 253 (1887/88).

wobei τ die Schwingdauer beider Schwinger vor der Koppelung bedeutet. Sondern ξ_1 schwankt außerdem in dem Takte, in dem die Energie hin und her pendelt. Diese neu hinzukommende Schwingdauer T hängt von dem Koppelungsgrade ab, und an die Stelle des Festwertes A tritt deshalb ein zweiter in der Zeit T sich sinusförmig ändernder Faktor. Die Gleichung für die jeweilige Ausweichung des ersten Schwingers hat dann die Form:

$$\xi_1 = \xi_{01} \sin \frac{2\pi}{T} t \cdot \sin \frac{2\pi}{\tau} t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Eine entsprechende Gleichung gilt auch für den zweiten Schwinger, nur treten an die Stelle der Sinus- die Kosinusfunktionen wegen der Phasenverschiebungen um 90^0.

Diese Ansätze sind der mathematische Ausdruck für die beobachtete Energiependelung. Dann kommt eine mathematische Überlegung: Das Produkt zweier Sinusfunktionen kann immer durch die Differenz zweier Kosinusfunktionen in bekannter elementarer Weise ersetzt werden. Man erhält also:

$$\xi_1 = \frac{\xi_{01}}{2} \cos 2\pi t \left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{T}\right) - \frac{\xi_{01}}{2} \cos 2\pi t \left(\frac{1}{\tau} + \frac{1}{T}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Es bedeutet demnach nur eine andere Ausdrucksweise für den Inhalt der Gleichung (1), wenn wir jetzt nach Gleichung (2) sagen, daß in jedem Schwinger zwei Schwingungen, die Koppelungsschwingungen, mit den reziproken Schwingdauern $\frac{1}{\tau} - \frac{1}{T}$ und $\frac{1}{\tau} + \frac{1}{T}$ vorhanden sind, die bei ihrer Übereinanderlagerung Schwebungen miteinander bilden.

Nach diesen Überlegungen kann man die Widerstandsdämpfung wieder zulassen. Bei schwacher Dämpfung und fester Koppelung beider Schwinger liegen dann die Verhältnisse ähnlich wie beschrieben wurde, und bei starker Dämpfung und loser Koppelung ist die ganze Schwingenergie bereits verzehrt, bevor eine Rückwirkung und Schwebung zustande kommen kann. Es liegt dann die einfache Resonanzerscheinung vor.

4. Bemerkungen dazu. Bei näherem Eingehen auf diese Erklärung stößt man auf verschiedene Schwierigkeiten.

a) Der Ausdruck (1) für die Schwebungen ist lediglich eine Beschreibung der Schwebungen, die beobachtet wurden. Das Pendeln der Energie soll die Erklärung für diese Schwebungen abgeben. Nun kennt man zwar das Wort Energiependelung schon, z. B. vom Pendel her, wo, wie man sich ausdrückt, die Energie zwischen Macht und Wucht (potentieller und kinetischer Energie) hin und her pendelt. Aber auf welchem anderen Gebiet der Physik beobachtet man die bei der Koppelung auftretende Erscheinung, daß Energie als Ganzes von einem Körper zum anderen übergeht und dann wieder umkehrt? So wichtig der Hinweis auf diese Art der Energiependelung auch sein mag, eine Erklärung für die Schwebungen liegt meines Erachtens darin nicht; denn sie ist etwas völlig Neues.

b) Der mathematische Weg, der von Gleichung (1) zu Gleichung (2) führt, d. h. die Zerlegung der Schwebungen in ihre Einzelschwingungen, benutzt zwar eine Formel, die jeder Obersekundaner kennt. Aber man muß bedenken, daß sonst in der Schwingungslehre der umgekehrte Weg eingeschlagen wird: der von den Einzelschwingungen zur Schwebung. Der mathematische Weg von Gleichung (1) auf Gleichung (2) bedeutet also physikalisch einen gedanklichen Rückweg. Dieser Schwierigkeit wird z. B. die Darstellung von H. Rein[1]) und die von F. Kiebitz[2]) gerecht, indem sie Hin- und Rückweg nacheinander behandeln.

c) Die Hauptschwierigkeit dieser ersten Erklärungsart liegt aber in der Beobachtung, daß in gewissen Fällen eine oder die andere der beiden Koppelungs-

[1]) H. Rein, Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie (1), herausgegeben von K. Wirtz. Berlin, Springer 1917, S. 133 ff.

[2]) F. Kiebitz, Drahtlose Telegraphie und Telephonie. Bücherei der Volkshochschule, Bd. 51. Velhagen und Klasing 1924, S. 18 ff.

schwingungen allein auftritt. Dann kann auch von Schwebungen nicht die Rede sein. Koppelt man z. B. einen elektrischen Wellenmesserkreis mit einem durch Poulsonlampe erregten Kreise, so schwingen in der Nähe der Abstimmung beide Kreise entweder in der einen oder in der anderen Koppelungswelle [1]). Ähnliche Erscheinungen sind heute bei der Röhrentechnik der elektrischen Schwingungen unter dem Namen „Ziehen" bekannt. Das getrennte Auftreten der beiden Koppelungsschwingungen wirft die ganze Erklärungsweise über den Haufen; der Nachweis dieser Tatsache bildete für den Verfasser den Ausgangspunkt zu vorliegender Arbeit.

5. Die zweite Erklärungsart. Eine zweite Erklärungsart für das Zustandekommen von Koppelungswellen stammt anscheinend aus der M. Wienschen Schule [2]). Die Darstellung soll hier gleich von möglichst allgemeinen Voraussetzungen ausgehen, so daß möglichst alle Gedanken, die man aus dem M. Wienschen Doppelpendel herausholen kann, erfaßt werden können.

Zwei Fadenpendel (Fig. 1) mit den Massen m_1 und m_2 und mit der gleichen Fadenlänge l sind nebeneinander aufgehängt; sie sollen nur in derselben Ebene (der Zeichenebene des Bildes) schwingen können. Ihre gleiche Schwingdauer bei kleinen Ausweichungen berechnet man durch den Quotienten aus Masse und Starre zu:

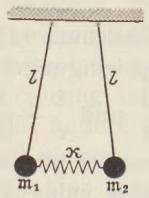


Fig. 1.

$$2\pi\sqrt{\frac{m_1}{m_1 g : l}} \quad \text{und} \quad 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{m_2 g : l}}.$$

Nun werden die beiden Massen durch eine Schraubenfeder von der Starre $\varkappa$ (am einfachsten unmittelbar) miteinander verbunden, d. h. die Pendel werden gekoppelt.

Es leuchtet sofort ein, daß diese Pendelverbindung mit der ursprünglichen Schwingdauer der Einzelpendel auch weiterhin schwingen kann, wenn die beiden gleichzeitig nach links und gleichzeitig nach rechts schwingen. Denn dabei bleibt die Koppelungsfeder unverzerrt, könnte also auch ganz weggelassen oder durch einen starren Stab ersetzt werden. Diese Schwingungsart sei die äußere Schwingung genannt. Hier macht der Schwerpunkt beider Massen, wie jeder Punkt der Feder, eine reine Sinusschwingung.

Bei der zweiten möglichen Schwingart dieser Pendelverbindung bleibt der Schwerpunkt in Ruhe und die beiden Pendel schwingen immer gleichzeitig auf den Schwerpunkt zu oder von ihm weg. Diese Schwingart sei die innere Schwingung genannt. Der Schwerpunkt P liegt auf der Feder. Da also der Federpunkt im Raume fest bleibt, so kann die Feder an dieser Stelle unbedenklich festgehalten werden, ohne daß die Schwingung des einen oder des anderen Pendels gestört wird. Setzt man nun die Entfernung von m_1 nach P gleich a cm und die von m_2 nach P gleich b cm, so ist die Starre [3]) von einem Zentimeter der Feder gleich $\varkappa\,(a+b)$. und folglich ist die Starre der beiden Federteile:

$$\varkappa_1 = \frac{\varkappa\,(a+b)}{a} = \varkappa\frac{m_1+m_2}{m_2} \quad \text{und} \quad \varkappa_2 = \frac{\varkappa\,(a+b)}{b} = \varkappa\frac{m_1+m_2}{m_1}.$$

Um diese Größen sind die Starrewerte der einzelnen Pendel zu vergrößern, so daß man als Gesamtstarre jedes der beiden Pendel erhält:

$$f_1 = \frac{m_1 g}{l} + \varkappa\frac{m_1+m_2}{m_2} \quad \text{und} \quad f_2 = \frac{m_2 g}{l} + \varkappa\frac{m_1+m_1}{m_1}.$$

[1]) Curt Fischer, Ann. d. Phys. Vierte Folge. **32**. 1910. S. 996.

[2]) M. Wien, Wied. Ann. **61**, S. 151, 1897. Dort wird auf S. 159 allerdings nur von Pendeln mit gleicher Masse gesprochen. In seinem Aufsatz über „Schwingungen gekoppelter Systeme" im Physikbande der „Kultur der Gegenwart", Teubner 1915, S. 382 ff. beschreibt M. Wien ein von ihm durchkonstruiertes Doppelpendel, bei dem auch die Pendelmasse geändert werden kann. Die hier gegebene Erklärung der Versuche wiederholt M. Wien aber dort merkwürdigerweise nicht.

[3]) D. h. die Kraft, die ein Zentimeter der unverzerrten Feder um ein Zentimeter verlängert.

Die Schwingdauern τ_l und τ_r der beiden durch P abgegrenzten Schwinger sind jetzt gegeben durch:

$$\frac{\tau_l^2}{4\pi^2} = \frac{m_1}{\frac{m_1 g}{l} + \varkappa \frac{m_1 + m_2}{m_2}} \quad \text{und} \quad \frac{\tau_r^2}{4\pi^2} = \frac{m_2}{\frac{m_2 g}{l} + \varkappa \frac{m_1 + m_2}{m_1}}.$$

Der Anschauung nach sollten τ_l und τ_r einander gleich sein. Tatsächlich ergibt sich das, wenn man Zähler und Nenner im ersten Ausdruck durch m_1, im zweiten durch m_2 dividiert. Somit ist also auch die Schwingdauer der inneren Schwingung bestimmt.

Bei beliebigem Anstoß des Systems nimmt die Masse m_1 an den beiden sinusförmigen Schwingungen, der inneren und der äußeren, gleichzeitig teil; ihre jeweilige Ausweichung ξ aus der Ruhelage kann also dargestellt werden durch die Gleichung:

$$\xi = A \cos\left(\frac{2\pi}{\tau_a} t + \varphi\right) + B \cos\left(\frac{2\pi}{\tau_b} t + \psi\right),$$

wobei

$$\tau_a = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\frac{g}{l} + \varkappa \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}}} \quad \text{und} \quad \tau_b = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Die Masse m_2 nimmt an denselben Schwingungen teil. Ihre größte Ausschlagweite bezüglich der äußeren Schwingung muß der Anschauung nach ebenfalls B sein. Da die Feder bei der inneren Schwingung in jedem Augenblick in allen ihren Teilen gleiche Spannung aufweisen muß, so verhalten sich die größten Ausschläge der Massen m_1 und m_2 wie ihre Abstände a und b vom Schwerpunkt, also umgekehrt wie die Massen. Berücksichtigt man noch, daß hier die beiden Massen stets in entgegengesetzter Richtung schwingen, so kann für die jeweilige Ausweichung η der Masse m_2 die Gleichung geschrieben werden:

$$\eta = -A \frac{m_1}{m_2} \cos\left(\frac{2\pi}{\tau_a} t + \varphi\right) + B \cos\left(\frac{2\pi}{\tau_b} t + \psi\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Die hier beschriebenen Schwingungsarten, die innere und die äußere Schwingung der Pendelverbindung, sind nun nichts anderes als die beiden Koppelungsschwingungen (für diesen besonderen Fall der Abstimmung). Ohne irgendwelche Differentialgleichung, rein aus der Anschauung heraus, wurden hier die völlig richtigen Gleichungen (3) und (4) für die Bewegung der beiden Pendel hingeschrieben. Wie die Festwerte A, B, φ und ψ durch die Anfangsbedingungen bestimmt werden, soll hier nicht ausgeführt werden. Ebenso soll die Umwandlung der Gleichungen in die Gestalt, daß sie die Schwebungen darstellen, hier unterbleiben.

6. Bemerkungen zur zweiten Darstellung. a) Nach der ersten Darstellungsart konnte das gesonderte Auftreten einer Koppelungsschwingung nicht erklärt werden. Hier dagegen, wo die beiden Schwinger zu einem Schwinger mit zwei Freiheitsgraden zusammengefaßt werden, bildet gerade das Herausgreifen der beiden Koppelungswellen den Grundgedanken der Erklärung. Da ferner der hier gezeichnete Ausbau des Grundgedankens auch zahlenmäßig die Verhältnisse richtig darstellt, so dürfte diese zweite Darstellung als wesentliche Verbesserung und Ergänzung der ersten zu bewerten sein.

b) Der Betrachtung lagen zwei abgestimmte, ungedämpft schwingende Pendel zugrunde, die nach der Abstimmung durch eine nachträglich hinzugefügte Feder gekoppelt wurden. Aus praktischen Gründen versteht man aber im allgemeinen unter Abstimmung der beiden Schwinger etwas anderes. Es werden dabei die Schwingungsdauern als gleich betrachtet, die jedes Pendel hat, wenn das andere festgehalten wird. Die Starre der Pendel ist dann $\frac{m_1 g}{l} + \varkappa$ und $\frac{m_2 g}{l} + \varkappa$, d. h. die Starre jedes Pendels wird von vornherein um die Starre $\varkappa$ der Zusatzfeder vergrößert angenommen.

Dieser Unterschied in der Begriffsbestimmung über die Abstimmung bewirkt, daß die beiden Gleichungen (3) und (4) für die Schwingweiten und die Werte der Schwingdauern sich nicht mit den üblichen Gleichungen [1]) decken. Im besonderen hat die eine Koppelungsschwingung die gleiche Schwingdauer wie die beiden Schwinger vor der Abstimmung (vgl. Absatz 1). Der Sachverhalt liegt also so: In Wirklichkeit werden zwei Schwinger dadurch miteinander gekoppelt, daß man ihnen nach der Abstimmung ein Stück ihrer Federung (oder bei Massenkoppelung einen Teil ihrer Massen) als gemeinsam zuerteilt. Die zweite Erklärung ist nur dadurch einfach geworden, daß die Schwinger erst nach der Abstimmung durch eine Zusatzfederung gekoppelt sein sollen, wodurch sie nach der üblichen Auffassungsweise im allgemeinen gleichzeitig gegeneinander verstimmt werden. Nur in dem Sonderfalle, daß beide Pendel in Masse und Pendellänge übereinstimmen, könnten mit den Grundgedanken der zweiten Erklärungsart leicht die üblichen Gleichungen hergeleitet werden. Dieser Sonderfall kann zwar im Modell sehr leicht hergestellt werden. In Wirklichkeit sind aber die beiden abgestimmten Schwinger selten kongruent. Um also zu einer der Wirklichkeit völlig entsprechenden Darstellung zu kommen, muß man die zweite

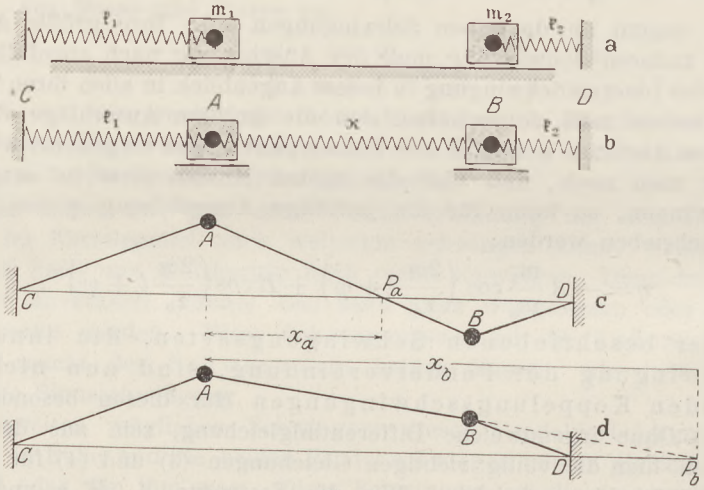


Fig. 2.

Erklärungsart auf den Fall nicht abgestimmter Schwinger zu erweitern suchen. Das soll nun im folgenden geschehen.

7. Neuer Erklärungsversuch. Das Wesentliche bei der folgenden Erklärung ist das Bild. Es muß gelingen, sich von zwei gekoppelten Schwingern eine solche Vorstellung zu bilden, daß man allein aus dem Bilde den ganzen Sachverhalt der Koppelung herauslesen kann. Wie weit das Urbild eines gekoppelten Systems zu verwirklichen ist, mag zunächst dahingestellt bleiben; es soll in einem späteren Aufsatze besprochen werden.

Zwei Eisenbahnwagen A und B (Fig. 2a) mit den Massen $\mathfrak{m}_1$ und $\mathfrak{m}_2$ können auf einem wagerechten Geleise reibungslos den Kräften ihrer in den Schwerpunkten angreifenden Pufferfedern nachgeben. Die Schraubenfedern (die Puffer) sind einseitig in C und D festgelegt, sie haben die Starre $\mathfrak{f}_1$ und $\mathfrak{f}_2$, und ihre Masse soll sehr klein sein gegen die Wagenmasse. Eine Abstimmung dieser beiden wagerechten Schwinger auf gleiche Schwingdauer wird hier nicht vorausgesetzt.

Beide Schwinger werden nun (Fig. 2b) durch eine masselose Schraubenfeder von der Starre $\varkappa$ miteinander gekoppelt. Dadurch wird aus den zwei Schwingern

[1]) Die Gleichungen (3) und (4) erhält man aus den Gleichungen (7), (8), (9), wenn man dort $\mathfrak{f}_1 : \mathfrak{m}_1 = \mathfrak{f}_2 : \mathfrak{m}_2$ und hier $\mathfrak{m}g : l = \mathfrak{k}$ setzt.

ein einheitliches Schwingungsgebilde mit zwei Freiheitsgraden. Zur Erleichterung der Vorstellung wollen wir die Annahme machen, daß alle drei Federn dieses Gebildes aus demselben Draht mit gleichem Windungsdurchmesser gewickelte Schrauben sind, daß also die verschiedene Starre nur durch verschiedene Windungszahlen bedingt ist.

Wesentlich für das Bild ist die Verwendung von Schraubenfedern.

a) Da nämlich die Starre dieser Federn in weitem Dehnungsbereich sich gleichbleibt, so kann man das ganze Gebilde (Fig. 2b) durch Auseinanderrücken der Festpunkte C und D dehnen, ohne die Einzelstarren und damit die Schwingdauern zu ändern. Der Vorteil dieser Vorspannung ist der, daß man sich dann die Federn nirgends auf Druck beansprucht vorzustellen braucht.

b) Wenn ferner das freie Ende einer masselosen Schraubenfeder mit n Windungen um die Strecke a sich verschiebt, so verschiebt sich die vom festen Ende aus gezählte $x$te Windung um die Strecke $a \cdot x/n$. Zeichnet man, wie das in der Schwingungslehre vielfach geschieht, die Längsverschiebungen der einzelnen Windungen senkrecht zur Schwingrichtung auf, so wird demnach die ganze innere Verschiebung in einer Feder durch eine Gerade dargestellt, wie z. B. die Bilder 2c und 2d zeigen.

8. Die beiden Koppelungsschwingungen. Dem zusammengesetzten Schwinger mit zwei Freiheitsgraden kann man nun ohne weiteres ansehen, welche einfachen Sinusschwingungen er ausführen kann. Wie früher, so unterscheiden wir auch hier zwischen etwas Ähnlichem wie einer inneren Schwingung, bei der beide Massen sich stets in entgegengesetzter Richtung bewegen (Fig. 2c) und einer äußeren Schwingung, bei der sie stets in gleicher Richtung schwingen (Fig. 2d). Die Bilder c und d legen den Vergleich nahe mit den Querschwingungen einer doppelt belasteten Saite, und zwar mit ihrer ersten Oberschwingung und der Grundschwingung. Spannt man z. B. einen langen Bindfaden, worin man zwei Massen (Blechschachteln) irgendwo eingeknüpft hat, wagrecht zwischen Wand und Hand, so kann man diese doppelt belastete Saite durch kreisende Bewegung der Hand wie ein Springseil in kreisende Bewegung versetzen. Bei verschiedener Drehgeschwindigkeit bilden sich dann die beiden stehenden Schwingungen aus, wie sie den Linienzügen $CABD$ der Bilder 2c und d entsprechen. Dieser für die Anschauung sehr wichtige Vergleich hat aber eine Schwäche darin, daß dabei die beiden Einzelschwinger ohne Koppelung nicht vorstellbar sind. Bei Längsschwingungen besteht diese Schwierigkeit nicht.

Diese durch den Vergleich mit der Grund- und der Oberschwingung einer Saite umschriebenen Schwingarten sind die beiden Koppelungsschwingungen. Das zu beweisen und zu zeigen, wie weit das Bild zahlenmäßig ausgewertet werden kann, soll der Inhalt der folgenden Abschnitte sein.

9. Berechnung der Koppelungsschwingungen. Vorbemerkungen.

a) Die Grund- und die Oberschwingung sind hier nur durch das Schwingen der Massen in entgegengesetzter und in gleicher Phase unterschieden. Im Abstimmungsfalle beider Schwinger war (vgl. Abschnitt 5) außerdem bei der inneren Schwingung der Schwerpunkt in Ruhe, bei der äußeren machte er eine reine Sinusschwingung. Diese Schwerpunktsätze gelten hier bei den unabgestimmten Schwingern nicht mehr. Der Weg zur Berechnung der Koppelungsschwingungen muß also hier ein anderer sein.

b) Wir haben bisher die Schwingungsvorgänge durch die Schwingdauer gekennzeichnet, da diese bei Körperschwingungen unmittelbar gemessen werden kann. Da es sich aber im folgenden auch darum handelt, daß der Leser die aus der Literatur bekannten Gleichungen hier wiedererkennt, so dürfte es angezeigt sein, von jetzt an mit dem sonst gebräuchlichen Begriff der Schwingungshäufigkeit zu rechnen. Zwischen der Schwingungshäufigkeit (Kreisfrequenz) n und der Schwingdauer τ besteht die Beziehung:

$$n = \frac{2\pi}{\tau} = \sqrt{\frac{\mathfrak{f}}{\mathfrak{m}}}.$$

10. Gleichung und Lösung. Im Bilde 2c, das die Oberschwingung darstellt, ist der Punkt P_a dadurch gekennzeichnet, daß, wenn er festgehalten wird, der Schwinger links ebenso schnell schwingt wie der Schwinger rechts von ihm. Im Ruhezustand habe die Koppelungsfeder die Länge $AB = l$ und der Punkt P_a von der Masse m_1 den Abstand $P_a A = x$. Dann hat die gesamte Federung von m_1 die Starre $f_1 + \frac{\varkappa l}{x}$ und die von m_2 die Starre $f_2 + \frac{\varkappa l}{l - x}$. Die Gleichheit der Schwinghäufigkeiten liefert demnach die Gleichung für den die Lage von P_a kennzeichnenden Abstand x:

$$\frac{f_1 + \varkappa \cdot \frac{l}{x}}{m_1} = \frac{f_2 + \varkappa \frac{l}{l - x}}{m_2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (5)$$

Diese einfach zu lösende quadratische Gleichung für x bietet einen anschaulichen Ersatz für die Gleichung vierten Grades, auf welche die differentielle Behandlung der Aufgabe führt (vgl. Abschnitt 2). An Stelle der beiden Lösungen x_a und x_b dieser Gleichung mögen hier zur Vereinfachung der Darstellung gleich die zwei Starrewerte $\frac{\varkappa l}{x_a}$ und $\frac{\varkappa l}{x_b}$ der entsprechenden Federstücke hingeschrieben werden:

$$\begin{aligned} \varkappa_{1a} = \frac{\varkappa l}{x_a} &= \frac{m_1}{2}\left\{\frac{f_1 + \varkappa}{m_1} + \frac{f_2 + \varkappa}{m_2} + \sqrt{\left(\frac{f_1 + \varkappa}{m_1} - \frac{f_2 + \varkappa}{m_2}\right)^2 + \frac{4\varkappa^2}{m_1 m_2}}\right\} - f_1 \\ \varkappa_{1b} = \frac{\varkappa l}{x_b} &= \frac{m_1}{2}\left\{\frac{f_1 + \varkappa}{m_1} + \frac{f_2 + \varkappa}{m_2} - \sqrt{\left(\frac{f_1 + \varkappa}{m_1} - \frac{f_2 + \varkappa}{m_2}\right)^2 + \frac{4\varkappa^2}{m_1 m_2}}\right\} - f_1 \end{aligned} \quad \ldots \quad (6)$$

11. Lage der Punkte P_a und P_b. Trotz dieser Schreibweise betrachten wir zunächst die Werte x_a und x.

x war der Abstand des Punktes P_a von A. Ein Teilpunkt der Feder wurde damit gesucht, und zwei Teilpunkte wurden gefunden. Wo man sich besonders den zweiten Teilpunkt vorstellen soll, das lehrt das Bild 3, das die Größen $\frac{x_a}{l}$ und $\frac{x_b}{l}$ nach den Gleichungen (6) als Schaulinie darstellt. Es wurden dazu die willkürlichen Annahmen gemacht:

$$m_1 = 100 \text{ g}; \quad f_1 = \text{veränderlich}$$

$$m_2 = 500 \text{ g}; \quad f_2 = 15000 \frac{\text{Dyn}}{\text{cm}}; \quad \varkappa = 5000 \frac{\text{Dyn}}{\text{cm}}$$

und damit für verschiedene Starrewerte f_1 des ersten Schwingers von $f_1 = 0$ bis $f_1 = \infty$ die auf die Länge l bezogenen Abstände $\frac{x}{l}$ des Punktes P von der Masse m_1 berechnet. Die Ergebnisse sind untereinander im Bilde 3 aufgetragen und die Endpunkte P_a und P_b der beiden Werte x durch eine P_a-Linie und eine P_b-Linie miteinander verbunden. Man liest die Darstellung z. B. für $f_1 = 1000$ so: Auf einer durch 1000 gelegten Wagrechten sind erstens senkrecht unter $\frac{x}{l} = 0$ und $\frac{x}{l} = 1$ die Massen m_1 und m_2 zu denken. Zweitens schneidet die Wagrechte die P-Linien in den Punkten $P_a\left(\frac{x_a}{l} = 0{,}78\right)$ und $P_b\left(\frac{x_b}{l} = 3{,}23\right)$.

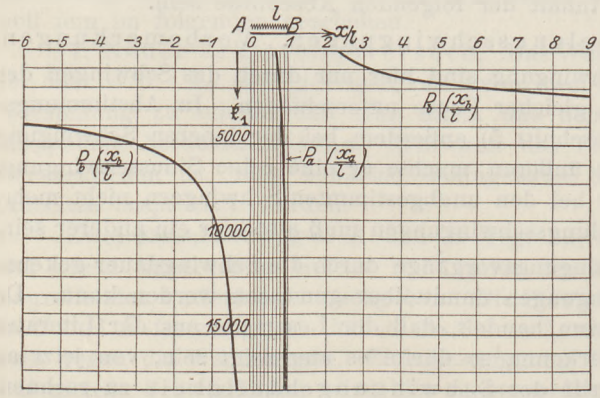


Fig. 3.

Die Darstellung zeigt folgendes:

a) Da der Bereich $\frac{x}{l} = 0$ bis 1 die Länge der Koppelungsfeder darstellt, so gibt es immer einen Punkt P_a auf der Feder und einen Punkt P_b außerhalb der Feder, der die Gleichung (5) befriedigt, von dem aus gerechnet also die beiden Teilschwingungen gleiche Schwingdauer haben. Es liegen hier ähnliche Verhältnisse vor, wie bei der harmonischen Teilung, aber die Wanderung der beiden Teilpunkte erfolgt hier stets in gleicher Richtung.

b) Der innere Teilpunkt P_a rückt, je größer die Starre $\mathfrak{k}_1$ der Feder ist, um so näher an die Masse m_2. Für $\mathfrak{k}_1 = 3000$ Dyn/cm ist der Schwinger 1 auf den Schwinger 2 abgestimmt (beide ohne die Koppelungsfeder gedacht). Hier fällt P_a in den durch $x/l = m_2 : (m_1 + m_2) = 500 : 600 = 0{,}83$ gekennzeichneten Schwerpunkt der beiden Massen.

c) Der äußere Teilpunkt P_b rückt bei wachsender Starre $\mathfrak{k}_1$ vom Massenpunkt m_2 fort; im eben genannten Fall der Abstimmung beider Schwinger liegt er im Unendlichen und kommt dann aus der entgegengesetzten Richtung immer näher dem Massenpunkte m_1.

12. Die Starre der Federteile. Nach dieser geometrischen Betrachtung berechnen wir die Starre der beiden Federn mit den Längen x_a und x_b. Sie sind in den Gleichungen (6) mit $\varkappa_{1a}$ und $\varkappa_{1b}$ bezeichnet und bereits ausführlich hingeschrieben. In den Bildern 2c und d sind es die Starrewerte für die Federteile AP_a und AP_b. Für die Starre der Ergänzungsstücke BP_a und BP_b gelten ähnliche Ausdrücke $\varkappa_{2a}$ und $\varkappa_{2b}$, nur tritt vor die Klammer $\frac{m_2}{2}$ an Stelle von $\frac{m_1}{2}$, und hinter der Klammer steht $\mathfrak{k}_2$ an Stelle von $\mathfrak{k}_1$. Der Ansatz der Gleichung (5) und die Gleichungen (6) lehren folgendes: Wenn an den Schwinger 1 eine in P_a festgelegte Feder mit der Starre $\varkappa_{1a}$ angesetzt wird, so schwingt er ebenso schnell, wie der Schwinger 2, an den eine in P_a befestigte Feder von der Starre $\varkappa_{2a}$ angesetzt ist. Bei der Grundschwingung mit dem äußeren Teilpunkt P_b muß man sich ganz entsprechend zwei gleich schnelle Einzelschwinger vorzustellen versuchen. An den Schwinger 1 wird die in P_b befestigte Feder P_bA mit der Starre $\varkappa_{1b}$ angeschlossen, an den Schwinger 2 die in P_b befestigte Feder $\varkappa_{2b}$. Das Letztgesagte ist jedoch praktisch unausführbar. Denn die Starre des $\varkappa_{1b}$ ergänzenden Federstückes wird negativ, da auch die Ergänzung der Strecke x_b auf die Länge l negativ wird. Es ist aber statisch unmöglich, von der Starre des Schwingers 2 durch Hinzufügen einer Feder deren Starre zu subtrahieren[1]). Dynamisch muß eine solche Subtraktion zweier Starrewerte möglich sein, denn der Punkt P_b ist durch den Schwinger 1 mit seiner Zusatzfeder ($\varkappa_{1b}$) völlig festgelegt.

13. Die Häufigkeit der Koppelungsschwingungen. Die Rechnung hat gelehrt: Auf zwei Arten kann bewirkt werden, daß beide Massen in gleichem Takte schwingen. Der Schwinger 1 kann jede dieser Schwingungen einzeln ausführen, wenn man den Schwinger 2 wegnimmt und ihn ersetzt entweder durch die Feder P_aA mit der Starre $\varkappa_{1a}$ oder durch die Feder P_bA mit der Starre $\varkappa_{1b}$. Nach den Gleichungen (6) berechnet man also die Häufigkeit n_a und n_b dieser beiden Schwingarten zu:

$$\left.\begin{matrix} n^2_a \\ n^2_b \end{matrix}\right\} = \frac{1}{2}\left\{\frac{\mathfrak{k}_1 + \varkappa}{m_1} + \frac{\mathfrak{k}_2 + \varkappa}{m_2} \pm \sqrt{\left(\frac{\mathfrak{k}_1 + \varkappa}{m_1} - \frac{\mathfrak{k}_2 + \varkappa}{m_2}\right)^2 + \frac{4\varkappa^2}{m_1 m_2}}\right\}. \quad \ldots \quad (7)$$

Dies sind aber die Häufigkeiten der beiden Koppelungsschwingungen zweier nicht abgestimmter Schwinger, wie man sie sonst durch Auflösen der Differentialgleichungen findet.

[1]) Vgl. C. Fischer, diese Zeitschrift 1925, S. 119, Abschnitt 11.

In den Gleichungen (7) erscheint die Starre $\varkappa$ der Koppelungsfeder getrennt von den Starrewerten $\mathfrak{k}_1$ und $\mathfrak{k}_2$ der beiden Einzelschwinger. Man kann hier also säuberlich unterscheiden zwischen den vier Schwinghäufigkeiten der Masse $\mathfrak{m}_1$, deren Quadrate dargestellt sind durch:

$$\frac{\mathfrak{k}_1}{\mathfrak{m}_1};\quad \frac{\mathfrak{k}_1+\varkappa}{\mathfrak{m}_1};\quad \frac{\mathfrak{k}_1+\varkappa_{1a}}{\mathfrak{m}_1};\quad \frac{\mathfrak{k}_1+\varkappa_{1b}}{\mathfrak{m}_1}$$

und ebenso für die Masse $\mathfrak{m}_2$. Der Vorteil gegenüber der sonst üblichen Darstellungsweise liegt darin begründet, daß auch in der durch das Bild gegebenen Anordnung eine besondere Feder für die Koppelung eingeführt wurde. Entsprechend trägt auch bei elektrischen Schwingungen die Einschaltung eines gesonderten Koppelungsgerätes [1]) wesentlich zur Klärung der Verhältnisse bei.

14. Die Bewegungsgleichungen. Wir haben mit den einfachsten mathematischen Mitteln aus der Anschauung heraus die Häufigkeit der Koppelungsschwingungen bestimmt. Ebenso einfach können wir aus den Bildern 2c und d die größten Ausschlagweiten herauslesen.

Da im allgemeinen jede der beiden Massen jede der beiden durch n_a und n_b gekennzeichneten Koppelungsschwingungen ausführt, so sind zur Zeit t ihre jeweiligen Ausweichungen ξ und η aus der Ruhelage darzustellen durch die Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned}\xi &= A_1 \sin(n_a t+\varphi) + B_1 \sin(n_b t+\psi)\\ \eta &= A_2 \sin(n_a t+\varphi) + B_2 \sin(n_b t+\psi)\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

Darin sind A_1 und A_2 die Amplituden der Oberschwingung. Nach Bild 2 c verhalten sie sich wie AP_a zu AP_b und haben entgegengesetztes Vorzeichen. Es ist also:

$$\frac{A_2}{A_1} = -\frac{\dfrac{1}{\varkappa_{2a}}}{\dfrac{1}{\varkappa_{1a}}} = -\frac{\dfrac{1}{\varkappa}-\dfrac{1}{\varkappa_{1a}}}{\dfrac{1}{\varkappa_{1a}}} = -\frac{\varkappa_{1a}-\varkappa}{\varkappa} \quad \ldots\ldots \quad (9a)$$

Für die Amplituden B_1 und B_2 der Grundschwingung ergibt Bild 2d das positive Verhältnis von AP_b zu BP_b. Damit ergibt sich:

$$\frac{B_2}{B_1} = +\frac{\dfrac{1}{\varkappa_{2b}}}{\dfrac{1}{\varkappa_{1b}}} = \frac{\dfrac{1}{\varkappa_{1b}}-\dfrac{1}{\varkappa}}{\dfrac{1}{\varkappa_{1b}}} = \frac{\varkappa-\varkappa_{1b}}{\varkappa} \quad \ldots\ldots \quad (9b)$$

Auch diese Ausdrücke (9a) und (9b) stimmen mit den aus den Differentialgleichungen gewonnenen überein. So haben wir also durch die Gleichungen (7), (8) und (9) die Bewegungsgleichungen in bezug auf Häufigkeiten, Schwingweiten und Phasenwinkel der beiden Koppelungsschwingungen so vollständig wie irgend möglich aus der durch das Bild gegebenen Anschauung heraus dargestellt. Die weitere Bestimmung der Festwerte setzt die Angabe von Anfangsbedingungen voraus.

15. Gedämpfte Schwinger. Bisher wurde das gekoppelte Schwinggebilde frei von Energieverlust vorausgesetzt. Diese Einschränkung lassen wir jetzt fallen und stellen uns, wie üblich, das Abklingen bei jedem Einzelschwinger so vor, daß die Schwingweite bei jedem Hin und Her um den gleichen Prozentsatz vermindert wird. Diesen Prozentsatz nennen wir das logarithmische Dekrement und bezeichnen es mit $\mathfrak{d}_1$ und $\mathfrak{d}_2$ für die beiden Einzelschwinger. Da aber die beiden Schwinger durch die Koppelung gezwungen werden, mit anderer Schwingdauer, also auch mit anderem logarithmischen Dekrement zu schwingen, als ihnen ursprünglich zu eigen war, so ist es besser, von der Dämpfung $\delta = \mathfrak{d}:\tau$ zu sprechen, da diese Größe von der Schwingdauer unabhängig ist.

Setzen wir nun voraus, daß beide Schwinger mit gleicher Dämpfung abklingen, so lehren die Bilder 2c und d, da sich die Amplituden bei jeder Schwingung um den

[1]) Vgl. C. Fischer, Ann. d. Phys. Vierte Folge **28**, 57, 1909 und **32**, 979, 1910. § 22.

gleichen Bruchteil verkleinern, daß die Verbindungslinien AB stets durch dieselben Punkte P_a und P_b hindurchgehen. Bei zwei gleich gedämpften Schwingern bleiben also die Betrachtungen über ungedämpfte Schwinger bestehen, nur muß die kleine Änderung der Schwinghäufigkeit durch die Dämpfung berücksichtigt werden, indem man in den Gleichungen (7) $\frac{f+\varkappa}{m}+\delta^2$ an Stelle von $\frac{f+\varkappa}{m}$ schreiben muß.

Anders wird es, wenn die Dämpfungen der beiden Schwinger verschieden sind. Dann treten Phasenverschiebungen zwischen der Bewegung von m_1 und der von m_2 sowohl bei der Grund- wie bei der Oberschwingung auf. Bei der doppelt belasteten kreisenden Saite kann man sich von diesen Phasenverschiebungen eine Vorstellung machen. Aber einfach sind die Verhältnisse dann nicht mehr. Es soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden, da einerseits bei nicht allzu fester Koppelung und kleiner Dämpfung der Schwingungsverlauf im wesentlichen so bleibt, wie bei gleich gedämpften Schwingern, und da andererseits die theoretische Annahme über die Dämpfung mechanisch schwer zu verwirklichen ist.

16. Zusammenfassung. Die vorliegende Arbeit hatte den Zweck, die mit den Koppelungsschwingungen zusammenhängenden Begriffe in einfacher Weise darzustellen. Es wurden drei Erklärungswege besprochen; der eine ging von der Energiependelung aus, der zweite stützte sich auf Schwerpunktssätze der Mechanik und sprach von einer äußeren und einer inneren Bewegung der vereinigten Schwinger. Der hier vorgeschlagene dritte Weg[1]) versuchte die Koppelungsschwingungen durch den Vergleich mit der Grund- und der ersten Oberschwingung einer doppelt belasteten längsschwingenden Saite zu deuten. Der zweite und der dritte Weg haben das gemein, daß sie sich auf die Koppelung durch Starre beschränken. Inwieweit die einzelnen in dieser Abhandlung vorgebrachten Gedanken neu sind, ist schwer zu sagen. Unter allen Umständen erschien aber eine die Begriffe klärende Zusammenstellung der verschiedenen Auffassungsweisen vonnöten; gehören die Koppelungsgesetze doch zu den allerwichtigsten Grundlagen der Schwingungslehre.

Die Beschreibung eines einfachen Gerätes, woran die Koppelungsgesetze sich als völlig berechenbar zeigen lassen, muß einem späteren Aufsatz vorbehalten bleiben.

Über Linsenformeln.

Von **Friedrich Trey** in Riga.

Man mag über die Abstraktionsfähigkeit der Schüler im allgemeinen und ihre Befähigung zum Auffinden physikalischer Gesetzmäßigkeiten im besonderen verschiedener Meinung sein. Es ist aber klar, daß sich die Einstellung der Schüler zu den verschiedenen Aufgaben im Laufe der Generationen ändert. In den Lehrbüchern der Physik wird dieser Umstand gewiß berücksichtigt. Dennoch besteht die Gefahr, daß wir bei manchen Darlegungen, auch in unseren Lehrbüchern, sozusagen nachhinken, und Beweise und Formeln beibehalten, die der veränderten Vorbereitung und mehr entwickelten Auffassungsgabe der Schüler angepaßt werden könnten und sollten.

Es wird hier die Frage aufgeworfen, ob es nicht an der Zeit wäre, an Stelle der gebräuchlichen Linsenformel

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

die Formel der theoretischen Optik

$$x x' = f^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

[1]) Wie ich erfahre, wird gleichzeitig mit dieser Veröffentlichung eine Arbeit von F. F. Martens in der „Zeitschrift für Physik“ erscheinen, welche die entsprechenden Fragen für das elektrische Gebiet behandeln soll.

etwa nach Drudes Lehrbuch der Optik einzuführen. Werden in der Formel (1) die Entfernungen a und b von der Linse nur ihrer absoluten Größe nach in Rechnung gesetzt, wie das meist geschieht, so gilt sie nur für eine einzige Linsenart, und auch das nur für einen beschränkten Bereich der Gegenstandsweiten. Besonders diese zweite Einschränkung wird mitunter nicht deutlich genug hervorgehoben. Gegebenenfalls wird allerdings, wenn z. B. bei einer Sammellinse die Gegenstandsweite die Brennweite unterschreitet, und man dann aus der Formel einen negativen Wert für die Bildweite errechnet, ad hoc ein Koordinatensystem eingeführt: man sagt, + bedeute ein reelles, — ein virtuelles Bild. Das ist nun gleichbedeutend mit: jenseits der Linse, vom Gegenstand aus gerechnet, gelte die Bildweite positiv, diesseits — negativ. Für die Gegenstandsweite gilt aber genau das Entgegengesetzte: diesseits ist diese positiv und jenseits negativ. Falls das nicht klar ausgesprochen wird, führt die Linsenformel zu Mißverständnissen, ganz abgesehen davon, daß man sich unter den in den Formeln enthaltenen reziproken Entfernungen physikalisch gar nichts vorstellen kann.

Wenn sich der Lehrer bei den Linsen nur auf praktische Übungen oder die Vorführung einiger weniger Versuchsergebnisse mit Sammellinsen beschränkt, dann mag die Aufstellung der rein formalen Beziehung (1) den Schüler vielleicht befriedigen. Doch wird dieser nur zu leicht geneigt sein, die ihm bekannte Formel auch auf andere Fälle anzuwenden. Dieses kann, falls man auf die mathematische Herleitung der Formel verzichtet, nur dann vermieden werden, wenn man durch Messungen den Gültigkeitsbereich der Formel wiederholt feststellen läßt.

Anders liegt es, falls der Lehrer gerade diesen Teil der Optik wegen seiner Abgeschlossenheit für besonders geeignet hält, den Schüler mit einer alle Möglichkeiten umfassenden einheitlichen Behandlung eines Problems bekannt zu machen. In solch einem Fall stehen ihm entsprechend den zweierlei Formeln auch zwei Wege offen. Er kann die Formel (1) in bekannter Weise herleiten. Die vereinfachenden Voraussetzungen, die dabei an mehreren Stellen gemacht werden müssen, werden wohl ganz allgemein als mißlich empfunden. Rechnet man, um eine für alle Gegenstandsweiten gültige Formel zu erhalten, mit algebraischen Größen, so ist das Verfahren trotz der Vernachlässigungen immer noch recht schwierig und unübersichtlich. Betont doch auch Poske in seiner Didaktik des physikalischen Unterrichts, daß diese allgemeine Herleitung „eine ziemliche Sicherheit des Schülers im Operieren mit algebraischen Größen voraussetzt.“ Man kann daher wohl ruhig behaupten, daß die allgemein gültige Ableitung der Formel in der Schule nur selten gebracht und noch seltener von den Schülern erfaßt wird. Daß der Schüler das Verfahren auf andere Fälle, etwa die bei den Zerstreuungslinsen, selbständig wird anwenden können, erscheint fast ausgeschlossen. So ist denn dieser Weg nicht sehr aussichtsreich, und es wird auch häufig empfohlen, von der mathematischen Herleitung lieber ganz abzusehen. Andererseits ist aber gerade die Abbildung durch Linsen und Spiegel ein Problem, das auch in der Schule allgemein und alle Möglichkeiten erschöpfend behandelt werden könnte. Bedenken wir, daß dieses in der höheren Schule nur von den wenigsten Problemen der Physik behauptet werden kann, so werden wir weder auf die mathematische Behandlung ganz verzichten wollen, noch uns mit der schwierig abzuleitenden Linsenformel (1) zufrieden geben. Daher erscheint der andere Weg, die Diskussion der einfacheren Formel (2), geboten. Diese Formel geht auf Newton zurück. Man erhält sie, wenn man die Entfernungen des Gegenstandes und des Bildes nicht von der Linse selbst, sondern von den Brennpunkten aus rechnet. Es liegt nun, m. E., kein Grund vor, vor der Einführung der Brennpunkte als Anfangspunkte der Koordinaten zurückzuschrecken. Sogar die Einführung zweier getrennter Koordinatensysteme für den Gegenstandsraum und den Bildraum wird den Schüler nicht allzusehr befremden, wenn er sieht, daß die Formeln dann ganz besonders einfach und übersichtlich werden. Der Begriff des Koordinatensystems ist doch heute im Gegensatz zu früher jedenfalls

einem Schüler der höheren Klassen ganz geläufig, sei es, daß er ihm in der Algebra bei der Lösung von Gleichungen begegnet ist, oder daß er ihn auch nur aus graphischen Abbildungen in Zeitschriften und Büchern kennt.

Steht nun auch bei der Abbildung durch Linsen und Spiegel die Zweckmäßigkeit der Einführung zweier getrennter Koordinatensysteme und die Verlegung ihrer Anfangspunkte in die Brennpunkte ganz außer Frage, so bereitet doch die Festsetzung der Richtung der Koordinatenachsen gewisse Schwierigkeiten. Deswegen wird es sich empfehlen, eine Möglichkeit der Darstellung in Form eines konkreten Vorschlages kurz zu skizzieren.

Den Ausgangspunkt der Betrachtung bilde der Begriff des Brennpunktes. Es wird damit gerechnet, daß dem Schüler der Brennpunkt einer Linse und auch die Anwendung der durch den Brennpunkt gehenden Strahlen zur geometrischen Konstruktion des Bildes bereits bekannt sind. Wir bezeichnen die Brennweite mit f. Nun ist man in Deutschland, einem Vorschlag von Gauss folgend, übereingekommen, beide Brennweiten der Sammellinsen trotz ihrer zur Linse entgegengesetzten Richtung positiv zu rechnen, die der Zerstreuungslinsen dagegen negativ. In englischen Büchern trifft man übrigens die entgegengesetzte Annahme an. Es werde also, wenn F' den absoluten Wert der Entfernung des Brennpunktes von der Linse bedeutet, für die Sammellinse $f = +F$ und für die Zerstreuungslinse $f = -F$ gesetzt und dies als Annahme I bezeichnet. Nun wollen wir, um die Lage eines bestimmten Punktes des Gegenstandes, z. B. für die Abbildung durch eine Sammellinse, festlegen zu können, ein Koordinatensystem wählen. Der Anfangspunkt der Linse liege im diesseitigen Brennpunkt der Linse, d. h. auf derselben Seite der Linse, auf der der Gegenstand sich befindet. Für die Punkte des Bildes dagegen sei der Anfangspunkt des zweiten Koordinatensystems im anderen Brennpunkt jenseits der Linse. Die Entfernungen der Punkte von der optischen Achse mögen beide Male als Ordinaten dargestellt werden, wobei, wie üblich, die Richtung nach oben als positiv, die nach unten als negativ gelte. Damit sind dann die positiven Richtungen der Achsen FY und $F'Y'$ (Fig. 1) festgelegt. Die Entfernungen des Gegenstandes und des Bildes von den entsprechenden Koordinatenanfangspunkten (Brennpunkten) bilden die Abszissen. Für die Festsetzung ihrer positiven Richtungen auf den x-Achsen sollte, m. E., nur die am meisten vorkommende Nutzanwendung bestimmend sein. Da der Gegenstand beim Fernrohr, beim photographischen Apparat und auch beim Mikroskop sich außerhalb der Brennweite des Objektivs befindet, erscheint es angebracht, die Richtungen vom Brennpunkt aus von der Linse weg in beiden Systemen als positive zu wählen. Damit sind dann auch die positiven Richtungen der beiden x-Achsen FX und $F'X'$ festgelegt.

Um das Bild $A'B'$ (Fig. 1) des Gegenstandes AB zu konstruieren und die Formeln abzuleiten, werden die durch die Brennpunkte gehenden Strahlen benützt. Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ABF und HCF ergibt sich die Proportionalität der Strecken,

$$AB : HC = FA : FH$$

und wegen $HC = A'B'$ erhalten wir daraus

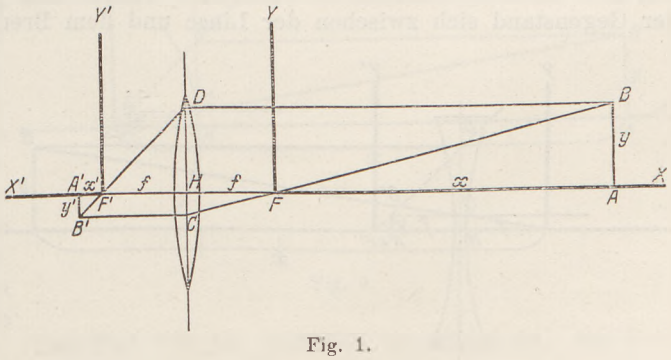


Fig. 1.

$$AB : A'B' = FA : FH.$$

Bei dieser Anwendung des Ähnlichkeitssatzes der Geometrie benutzen wir aber nur die absoluten Größen der Strecken. Die Ordinate des Bildpunktes B' (y') ist aber eine negative Größe. Um dies beim Übergang zu den Koordinaten zu berücksichtigen,

haben wir für die Strecke $A'B'$ jetzt $-y'$ zu setzen. Dieser Übergang ist von allgemeiner Bedeutung, kann nicht vermieden werden und sollte daher in jedem einzelnen Fall etwa in nachfolgender Schreibweise geübt werden:

$$f = +FH = +F'H \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Annahme I)}$$

$$x = +FA,\ x' = +F'A',\ y = +AB,\ y' = -A'B' \quad . \quad \text{(Annahme II)}$$

Und daher ist

$$\frac{y}{-y'} = \frac{x}{f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Ganz analog erhalten wir aus den Dreiecken $A'B'F'$ und HDF'

$$\frac{-y'}{y} = \frac{x'}{f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

und aus beiden (3) und (4) die gewünschte Formel (2): $xx' = f^2$.

Die einfache Form der erhaltenen Gleichung spricht für sich. Ihr Inhalt kann leicht formuliert werden: die Brennweite ist die mittlere Proportionale zur Gegenstandsabszisse und Bildabszisse. Es ergibt sich aus ihr auch eine überaus einfache geometrische Konstruktion des Bildortes, wenn der Gegenstandsort und die Brennweite einer Sammellinse gegeben sind. Der didaktische Wert, der in den Beziehungen dieser Formel zu dem Kapitel über Proportionen aus der Algebra liegt, sei nur erwähnt. Die hauptsächlichsten Vorzüge, welche die Einführung dieser Art der Darstellung unbedingt erwünscht erscheinen lassen, sind aber folgende: Alle drei Gleichungen (2), (3) und (4) können mannigfaltig physikalisch interpretiert werden. Diese Gleichungen können vom Schüler für jede Linsen- oder Spiegelart und jede Lage des Gegenstandes in genau gleicher Weise hergeleitet, also auch angewandt werden. Die Aufstellung der Gleichungen liefert als Nebenprodukt noch das Vergrößerungsverhältnis.

Für die Interpretation der Gleichungen mögen einige Beispiele genügen. Da f^2 eine Konstante ist, folgt aus (2): je näher der Gegenstand dem auf seiner Seite liegenden Brennpunkt, desto weiter das Bild von dem anderen. Aus (3) ergibt sich, daß das Bild eines Gegenstandes von bestimmter Größe ($y = \text{konst.}$) bei gegebener Linse desto kleiner wird, je größer die Entfernung x des Gegenstandes vom Brennpunkt ist. Der Wert der Vergrößerung $V = \frac{y'}{y}$ ist nach (4) bei gleichbleibender Bildabszisse ($x' = \text{konst.}$) desto größer, je kleiner die Brennweite der gewählten Linse ist. Das Vorzeichen von V ist negativ, da im Ausdruck $V = -\frac{x'}{f}$ Zähler und Nenner beide positiv sind. Dem negativen Vorzeichen entspricht ein umgekehrtes Bild. Ist dagegen das Bild aufrecht, so wird die Vergrößerung positiv, z. B. für $x < 0$, wenn der Gegenstand sich zwischen der Linse und dem Brennpunkt befindet.

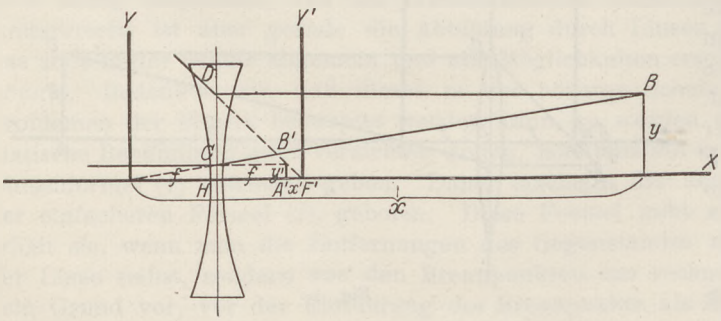


Fig. 2.

Daß die Formeln ganz unverändert für die Zerstreuungslinsen gelten, läßt sich leicht zeigen. Nur muß, dem negativen Vorzeichen von f entsprechend, der Anfangspunkt der Koordinaten für den Gegenstand in den jenseitigen Brennpunkt, d. h. auf die vom Gegenstand abgewendete

[1]) Bei Drude, „Lehrbuch der Optik“ sind die Richtungen der x-Achsen gerade entgegengesetzt den im Text getroffenen Annahmen festgelegt. Dann hat man aber von vornherein negative Gegenstandsabszissen und Bildabszissen.

Seite der Linse verlegt werden. Für das Bild liegt der Anfangspunkt im diesseitigen Brennpunkt. Die positiven Richtungen der Achsen bleiben dieselben. Man entnimmt dann der Figur 2 dieselbe Proportion:

$$AB : AB' = FA : FH,$$

nur daß jetzt

$$f = -FH = -F'H$$

und

$$x = +FA,\ x' = +F'A',\ y = +AB,\ y' = +A'B'$$

ist. Daraus folgt die mit (3) identische Formel:

$$\frac{y}{y'} = \frac{x}{-f}.$$

Auch die Spiegelgesetze können leicht in dieselbe Form gekleidet werden. Hierbei genügt sogar ein einziges Koordinatensystem für Gegenstand und Bild. Dieser Fall ist also besonders dazu geeignet, den Schüler in diese Art der Behandlung einzuführen. Die folgenden Ausführungen wären daher beim Lehrgang an die Spitze zu stellen.

Der Brennpunkt, dessen Lage $\left(F = \frac{r}{2}\right)$ und die Konstruktion des Bildes mit Hilfe achsenparalleler Strahlen werden als bekannt vorausgesetzt. Die Brennweite des Hohlspiegels werde positiv gerechnet $f = +F$, die des konvexen Spiegels negativ $f = -F$. Dies entspricht der Annahme I bei den Linsen. Nun empfehlen wir dem Schüler, die Entfernungen des Gegenstandes und des Bildes nicht vom Spiegel, sondern vom Brennpunkt aus zu nehmen und führen damit das aus den Figuren 3 und 4 ersichtliche Koordinatensystem ein. Die Strahlen werden mit Absicht als von rechts kommend angenommen, um den Anschluß an das gebräuchliche Koordinatensystem zu gewinnen. Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ergibt sich in beiden Fällen leicht dieselbe Beziehung:

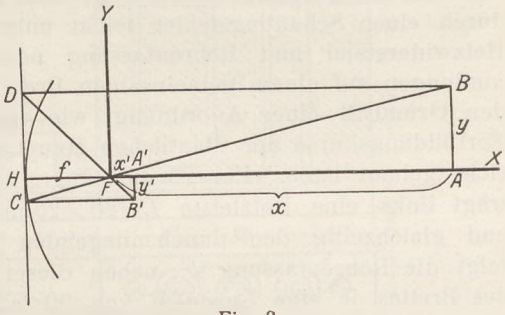


Fig. 3.

$$AB : A'B' = FA : FH$$

und daraus genau analog dem für die Linsen Ausgeführten über (3) und (4) die Beziehung (2).

Gleich bei diesen Zeichnungen (Fig. 3 und 4) wird man Gelegenheit finden, darauf hinzuweisen, daß die Strahlen statt von der Spiegelfläche von der Berührungsebene im Punkt H des Spiegels (Hauptebene) geführt werden, und die Formeln mithin nur so lange gelten, als die hierdurch veranlaßten Abweichungen vom tatsächlichen Strahlengang vernachlässigt werden können. Es sei auch noch erwähnt, daß die bekannten sechs Hohlspiegelfälle sich leicht aus der Formel (2) ableiten lassen. In der folgenden Tabelle entsprechen die Fälle abnehmenden Werten von x. Der Fall VII ist, trotzdem er trivial ist, der Vollständigkeit halber hinzugefügt.

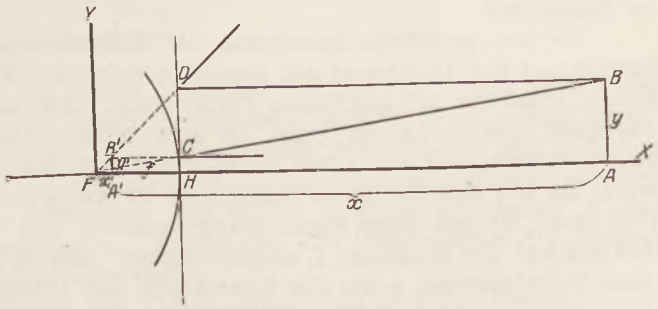


Fig. 4.

	I	II	III	IV	V	VI	VII
x	∞	$>f$	f	$<f$	0	<0	$-f$
x'	0	$<f$	f	$>f$	∞	<0	$-f$

Sehr einfach gestaltet sich der Übergang von der neuen Formel zur alten. In unserer an Neueinführungen so überreichen Zeit gilt das vielleicht nicht einmal als Vorzug. Doch auch der umgekehrte Weg ist ebenso leicht, und so kann derjenige, der die Herleitung der zur Zeit gebräuchlichen Linsenformel nicht missen möchte, doch noch den Anschluß an die einfachere Formel unschwer gewinnen. Gedacht ist allerdings, daß durch eine vereinfachte und doch umfassende Behandlungsweise, wie sie hier vorgeschlagen wird, Zeit und Kraft für andere Fragen gespart wird, was nach den neulich in dieser Zeitschrift erschienenen Ausführungen von B. BAVINK sehr erwünscht erscheint.

Die Behandlung der Grundlagen des Rundfunks im Unterricht.

Von Dr. Walter **F. Zorn** in Berlin-Schöneberg.

(Schluß.)

Da die Verstärkerröhre nicht ohne Heizwiderstand benützt und die teure Röhre durch einen Schaltungsfehler leicht unbrauchbar werden kann, ist es zweckmäßig, Heizwiderstand und Röhrenfassung nebst den erforderlichen Klemmen und Verbindungen auf einem gemeinsamen Brett zu befestigen. Fig. 3 gibt den Aufriß und den Grundriß einer Anordnung, wie ich sie für unsere Schülerübungen und die Fortbildungskurse der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht gebaut habe. Ein 25 cm langes Stück des erwähnten 6 mm dicken Brettes trägt links eine Holzleiste L (20×20 mm), die das Werfen des Brettes verhüten und gleichzeitig den danebenliegenden Widerstand W schützen soll. Auf diesen folgt die Röhrenfassung F; neben dieser erheben sich an den beiden Längsseiten des Brettes je eine Leiste B von 90 mm Breite, 60 mm Höhe und 20 mm Dicke, auf welche unter Zwischenschaltung von 4 etwa 15 mm hohen Porzellanisolatoren J eine Hartgummiplatte H ($90 \times 100 \times 6$ mm) aufgeschraubt ist. Diese trägt nun an den äußeren drei Seiten die zur Herstellung der Verbindungen erforderlichen Klemmen 1—9, welche sich also in etwa gleicher Höhe wie die der eingebauten Drehkondensatoren usw. befinden. Bei Benutzung wird das Brett so gelegt, daß der Heizwiderstand W vorn, die Klemmen wie bei den anderen Apparaten hinten liegen. Die Röhre R ragt kaum über die Hartgummiplatte hervor, hindert also die Bedienung der Klemmen nicht, ist aber leicht auszuwechseln und ohne Mühe zu beobachten.

Die hier getroffene Anordnung des Widerstandes, bei der sich der Widerstandskörper und der Drehknopf auf derselben Seite der Tragplatte befinden, macht eine kleine Änderung der käuflichen Form nötig. Auf das Ende der Widerstandsachse, das sonst den Drehknopf trägt, ist eine größere Unterlegscheibe U aufzulöten, um zu verhindern, daß die Achse durch den Druck des Kontaktarmes K herausgezogen wird; für die Scheibe ist im Grundbrett ein genügend großes Loch zu bohren. Der Drehknopf ist mit einer Strichteilung versehen und wird so auf die Achse gesetzt, daß ein auf der Holzleiste L eingeschlagener Stift St mit dem Nullstrich der Teilung dann übereinstimmt, wenn der Kontaktarm den Widerstandsdraht noch nicht berührt, der Strom also ausgeschaltet ist. Will man das Umsetzen der Achse vermeiden, so kann man parallel zur Leiste L eine zweite Leiste anbringen und den Widerstand in der üblichen Form an einem Brettchen befestigen, das auf diesen beiden Leisten ruht, so daß sich der Widerstand unter dem Brettchen, der Drehknopf über ihm befindet. Die zweite Leiste und das Brettchen erschweren aber das Ziehen der Verbindungsleitungen zur Batterie und zur Röhre.

Ein schwieriger Punkt ist die Wahl der Röhrenfassung. Zur Zeit sind für die gewöhnlichen Verstärkerröhren vier verschiedene Sockel in Gebrauch: Telefunken-

Sockel, englisch-französischer Sockel, Huth-Sockel und amerikanischer Sockel. Die Normungskommission des Verbandes Deutscher Elektrotechniker hat eine fünfte Form vorgeschlagen, die aber noch nicht in Gebrauch ist. Da unsere Schule eine größere Anzahl von Verstärkerröhren mit Telefunken-Sockel als Geschenk erhielt, habe ich mich für diesen entschieden; man kann auch in Berlin ohne große Mühe die Verstärkerröhren fast aller Fabriken mit diesem Sockel erhalten, außerhalb Berlins dürfte dies schon schwieriger sein. Um aber von der Sockelform auch in Zukunft unabhängig zu sein, benütze ich die Einheitsfassung F28 der Firma Dr. Erich F. Huth, die von der Firma Kohl-Huth vertrieben wird. Sie besteht, wie die Zeichnung erkennen läßt, aus einem runden, aus isolierendem Material gepreßten Körper mit vier um 90° versetzten Klemmen, die mit U-förmigen Bronzefedern verbunden sind; diese liegen unter den länglichen Schlitzen der in der Zeichnung dargestellten Deckplatte. Beim

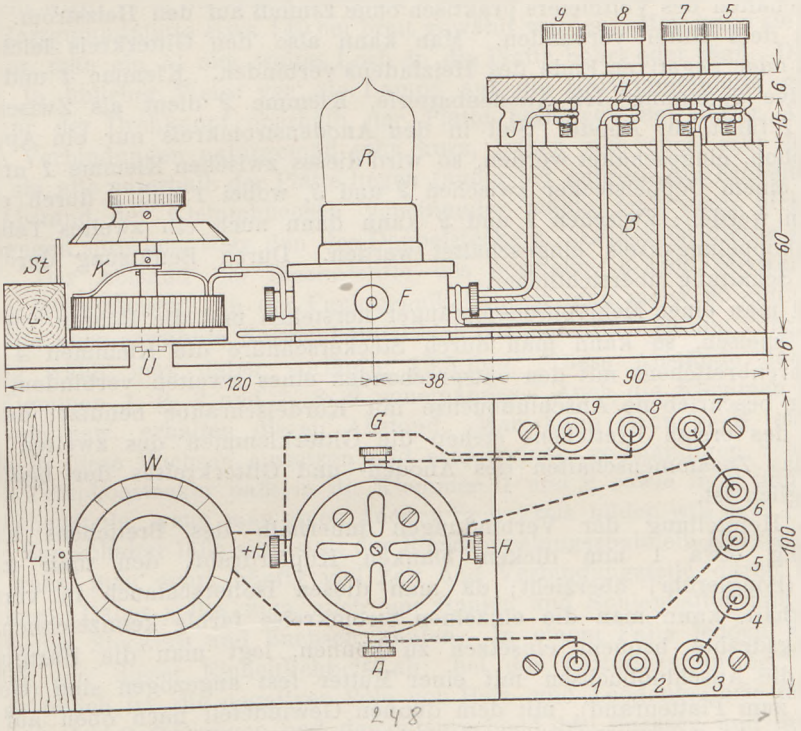


Fig. 3.

Einsetzen der Röhre legen sich die beiden Schenkel mit starkem Druck an die eingeführten Stecker, unabhängig von deren Durchmesser und Entfernung vom Mittelpunkte des Sockels. Die vier Stifte der gebräuchlichen Röhrensockel sind auf zwei zueinander senkrechten Achsen angeordnet; zwei gegenüberliegende Stecker sind mit den Enden *H* des Heizdrahtes verbunden, die beiden anderen mit Anode A und Gitter G, doch ist bei den verschiedenen Fabrikaten der Durchmesser der Stecker sowie ihr Abstand vom Mittelpunkt verschieden.

Zur Verbindung der Röhre mit den übrigen Apparaten sind die Klemmen *1—9* (Fig. 3) vorgesehen. Die Klemmen *4—6* führen die Heiz- und Anodenspannung zu, und zwar wird bei der gebräuchlichsten Schaltung Klemme *6* mit dem negativen Pol von Heiz- und Anodenbatterie verbunden; sie steht mit dem negativen Ende des Heizfadens in Verbindung, außerdem mit Klemme *7*. Klemme *5* führt den positiven Heizstrom zum Widerstand und weiter durch den Kontaktarm zum positiven Ende des Heizfadens, das gleichzeitig mit Klemme *9* verbunden ist. Durch die Klemmen *7* und *9* kann man also bequem die Spannung an den beiden Enden des Heizdrahtes

messen; dies ist sehr wichtig, da der Heizfaden durchbrennt, wenn die an seinen Enden liegende Spannungsdifferenz zu groß ist. Das Messen der Heizspannung ist der Messung des Heizstromes vorzuziehen, weil 1. das Einschalten eines Strommessers umständlicher ist als das Anschalten eines Spannungsmessers, falls man nicht das Instrument dauernd eingeschaltet lassen will, was sich aber bei Schülerübungen durch die Zahl der benötigten Strommesser von selbst verbietet; 2. weil die Spannungsmessung infolge der Vergrößerung des Fadenwiderstandes mit wachsendem Strom ($E = i\ w$) genauer ist; 3. weil nach längerem Gebrauch der Faden der Röhre dünner wird, so daß er die ursprünglich zulässige Stromstärke nicht mehr aushält, während bei Einhalten der Heizspannung die Gefahr einer Überlastung geringer ist. Sorgt man dafür, daß der Widerstand des benützten Voltmeters groß ist gegenüber dem des Heizfadens, was bei Drehspulinstrumenten leicht zu erreichen ist, so ist das Ein- und Ausschalten des Voltmeters praktisch ohne Einfluß auf den Heizstrom. Klemme *8* wird mit dem Gitter verbunden. Man kann also den Gitterkreis leicht mit dem positiven oder negativen Ende des Heizfadens verbinden. Klemme *4* und *3* erhalten die positive Spannung der Anodenbatterie, Klemme *2* dient als Zwischenklemme, Klemme *1* führt zur Anode. Soll in den Anodenstromkreis nur ein Apparat, etwa das Telephon, eingeschaltet werden, so wird dieses zwischen Klemme *1* und *3* gelegt oder mit einem Doppelstecker zwischen *2* und *3*, wobei *1* und *2* durch einen Draht verbunden werden; zwischen *1* und *2* kann dann auch ein zweites Telephon oder ein Rückkoppelungskreis eingeschaltet werden. Durch Benützung der Klemme *2* wird die Schaltung übersichtlicher.

Will man einen Mehrröhrenempfänger herstellen und die Röhren von denselben Batterien speisen, so kann man durch Steckerschnüre die Klemmen *4* bis *6* des einen Röhrenbrettchens mit den entsprechenden eines zweiten verbinden, wenn man die früher beschriebene Anschlußbuchse mit Kordelschraube benützt; den Anodenklemmen des ersten Brettchens stehen die Gitterklemmen des zweiten gegenüber, so daß das Zusammenschalten des Anoden- und Gitterkreises der beiden Röhren leicht möglich ist.

Zur Herstellung der Verbindungen innerhalb des Brettchens nimmt man zweckmäßig etwa 1 mm dicken blanken Kupferdraht, den man mit Isolierschlauch (Bougierohr) überzieht; da man diesen Isolierschlauch in verschiedenen Farben erhält, kann man die einzelnen Stromkreise farbig kennzeichnen. Um die Verbindungsdrähte bequem einsetzen zu können, legt man die Hartgummiplatte, nachdem die Anschlußbuchsen mit einer Mutter fest angezogen sind (Querbohrung senkrecht zum Plattenrand), mit dem dünnen Gewindeteil nach oben auf ein Brett, hält sie hier durch zwei Nägel, die durch die Bohrung für die Halteschrauben gehen, in ihrer Lage fest, und legt die Einheitsfassung ebenfalls umgekehrt auf einen etwa 4 cm dicken Holzstab, der auf dem Brette senkrecht steht, so daß Hartgummiplatte und Fassung nunmehr relativ zueinander die gleiche Lange haben, wie auf dem Röhrenbrett, nur gewissermaßen auf dem Kopfe stehend; auch die Fassung wird durch zwei Nägel in ihrer Lage gehalten. Man kann nunmehr die Verbindungen leicht herstellen, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Drähte von den Klemmen *1*, *8* und *9* erst etwa 2 cm horizontal geführt werden müssen, ehe sie nach oben gehen, um in die Ebene der Klemmen *G*, *H* und *A* zu kommen, sonst berühren sie in ihrer endgültigen Lage die Seitenbretter, auf denen die Gummiplatte liegt. Die Leitung zum negativen Ende des Heizfadens wird zweckmäßig, wie die Aufsichtszeichnung zeigt, an den Verbindungsdraht der Klemmen *6* und *7* gelötet, ebenso kann man an den zum positiven Ende des Heizfadens führenden Draht in der Nähe der Klemme H einen Draht anlöten, der später mit dem Widerstand verbunden wird. Ein Draht von genügender Länge wird auch an Klemme *5* befestigt. Nunmehr werden Platte und Fassung in richtiger Lage auf das Röhrenbrett geschraubt und die Verbindungen mit dem Widerstand hergestellt; dies ist einfach, wenn der Widerstand in der ge-

zeichneten Weise aufgebaut ist, da seine Klemmen dann offen liegen, während sie sich bei der angegebenen zweiten Art der Befestigung des Widerstandes unter dem Tragbrettchen hinter der Leiste befinden.

Eine andere handliche aber für Schülerübungen nicht so praktische Anordnung erhält man, wenn man auf einer Hartgummiplatte (100 × 150 mm) die *9* Klemmen in der angegebenen Weise anbringt, die Röhre aber in das von ihnen eingeschlossene Rechteck setzt, indem man dort in den durch die Steckerentfernung des benützten Röhrensockels gegebenen Entfernungen einfache Buchsen mit der dem Steckerdurchmesser entsprechenden inneren Bohrung einsetzt. Die Röhre überragt dann die Klemmen und behindert etwas die Benützung der Klemmen *4* bis *6*, auch kann man dann nur Röhren mit einem bestimmten Sockel benützen, wenn man nicht die verhältnismäßig teueren Zwischenstücke zu Hilfe nimmt, durch welche die Röhre noch höher gestellt wird. Um die Einheitsfassung zwischen die Klemmen setzen zu können, müßte die Hartgummiplatte etwa 140 cm breit gewählt werden. Man kann sie auch versenken, wenn man ein 51 mm weites Loch in die Platte bohrt oder sägt. Der Widerstand wird in üblicher Weise vor die Lampe auf die Hartgummiplatte gesetzt, so daß sich nur der Drehknopf oberhalb der Platte befindet. Bei dieser Anordnung werden die Verbindungen naturgemäß sehr kurz, lassen sich auch sehr leicht herstellen, da sie alle unterhalb der Platte liegen (außer bei aufgesetzter Einheitsfassung).

Als Abstand der Klemmbuchsen voneinander wähle ich, wenn nicht triftige Gründe dagegen sprechen, stets den des Doppelsteckers. Leider ist dieser auch nicht einheitlich. Der Abstand der Steckerstifte des normalen 6-Amp.-Steckers beträgt von Mitte zu Mitte 19 mm. In der Funktechnik benutzt man meist 20 mm (Telephonstecker). Die oben erwähnte Normenkommission hat einheitlich 19 mm vorgeschlagen. Zweckmäßig wählt man daher vorläufig 19,5 mm. Diese Abstände haben daher auch die Klemmen *1*, *2*, *3* und *7*, *8*, *9* voneinander. Auch die Klemmen der Drehkondensatoren usw. erhalten diesen Abstand. Man kann dann z. B. eine Honigwabenspule in diese Buchsen einsetzen und erhält einen vollständigen Schwingungskreis. Der Telephonstecker paßt in die Klemmen *1* und *2*, sowie in *2* und *3*, ebenso die Honigwabenspule, wenn man einen Anoden-Sperrkreis bilden will usw. Bei einem dreiteiligen Spulenhalter läßt sich statt der Rückkoppelungsspule ein Kurzschlußstecker einsetzen, kurz, man spart häufig viel Zeit und Verbindungsteile durch diese Vereinheitlichung. Daher sollte man auch nur Spulen und Spulenhalter mit deutschen, nicht englischen Steckern und Buchsen kaufen. In einem Falle jedoch weicht man zweckmäßig von dieser Einheitlichkeit ab; bei der Batteriezuführung. Verbindet man, wie es üblich ist, die negativen Pole von Heiz- und Anodenbatterie miteinander, so erhält man drei Zuführungen und dementsprechend drei Buchsen und drei Stecker, welche man so anordnet, daß die Mitten der Stecker der negativen Pole und des positiven Heizpoles 15 mm voneinander entfernt sind, die der positiven Pole beider Batterien dagegen 20 mm. Durch die Benützung solcher dreiteiligen Batteriebuchsen und -Stecker verhütet man selbsttätig den falschen Anschluß der Batterien, der schon manchem Heizfaden das Leben gekostet hat. Die Klemmen *5* und *6* des Röhrenbrettchens haben daher einen Abstand von 15 mm, die Klemmen *4* und *5* von 20 mm. (Von der Normungskommission wird 16 mm und 19 mm vorgeschlagen.)

Die Befestigung der Klemmen erfolgt am besten auf Hartgummi. Dort, wo eine größere Anzahl nahe beieinander sitzen, wie beim Röhrenbrett, muß man eine größere Platte nehmen, häufig jedoch genügen schmale Streifen, die man auf ein Holzbrett aufschraubt unter Zwischenschaltung von Porzellanisolatoren. Soll der zu den Klemmen führende Draht durch das Brett hindurchgehen, so muß es unter der Klemme eine genügend große Bohrung erhalten, damit der Draht nicht das Brett berührt; oder man schraubt den Hartgummistreifen unmittelbar auf das Brett und versieht dieses mit einer so großen Bohrung, daß die Metallteile der Klemme genügend weit vom Holz entfernt sind. Eine andere Methode, die mit dem teueren Hartgummi sparsamer

umgeht, ist in Fig. 1 S. 132 angedeutet. Hier geht die Buchsenschraube durch zwei runde Hartgummiplatten I, die auf den einander zugekehrten Seiten abgesetzt sind und mit diesem Teil in zwei Löcher des Holzes passen. Buchse und Zuführungsdraht sind so vom Holze sicher isoliert. Solche Isolierscheiben werden neuerdings auch in den Handel gebracht, doch läßt Material und Ausführung noch zu wünschen übrig. Da es wegen der Holzfasern schwer ist, Löcher von etwa 10 mm Durchmesser so zu bohren, daß der Abstand ihrer Mitten auf $^1/_2$ mm stimmt, wie es für Doppelstecker nötig ist, so ist eine gewisse Verschiebungsmöglichkeit der Platten nötig; dies erfordert aber einen breiteren überstehenden Rand, als das mir bekannte Erzeugnis aufweist. Es ist zu wünschen, daß eine gut eingerichtete Fabrik sich die Herstellung solcher Plättchen angelegen sein läßt.

Beim Einkauf der Einzelteile ist besonders auch auf gute mechanische Ausführung zu achten; Drehkondensatoren mit dünnen, engstehenden Platten weisen bald Kurzschluß auf, besonders wenn die Achse im Isoliermaterial und nicht in Metall gelagert ist. Vorteilhaft ist es, wenn die beiden Deckplatten rund sind und dadurch auch die herausgedrehten Platten vor Beschädigung schützen. Als Selbstinduktion sind die käuflichen Honigwabenspulen mit deutschem Stecker sehr bequem; man achte auf gute Ausführung der Stecker und gutes Material des Isolierklotzes, in dem sie befestigt sind. Für die Selbstherstellung eignen sich neben den Zylinderspulen die Korbbodenspulen. Als Träger der Windungen dient eine runde Scheibe aus Pappe mit radialen Schlitzen, die in Paraffin gekocht werden muß. Hierzu falzt man sich aus $^1/_2$ mm starkem Blaublech einen quadratischen Kasten mit etwa 8 cm hohen Seitenwänden ohne die Ecken einzuschneiden, ähnlich wie man aus Papier Kästchen faltet; der obere Rand wird zur Verstärkung nach außen umgebördelt. Zum Bewickeln der Pappscheibe nimmt man zweimal mit Baumwolle umsponnenen Kupferdraht von 0,5 mm Dicke, von dem man zweckmäßig gleich eine ganze Rolle kauft. Für Spulen mit vielen Windungen ist der dünne Draht sehr gut zu gebrauchen, den die Nebenschlußspulen der Bogenlampen enthalten, sofern er nicht ganz oder zum Teil aus Widerstandsdraht besteht. Diese Bogenlampen sind häufig, da sie durch Metallfadenlampen ersetzt worden sind, von den Elektrizitätswerken und städtischen Behörden unentgeltlich zu bekommen oder befinden sich sogar noch in Schulräumen. Auch die anderen Teile des Regulierwerkes sind vielfach zu benützen. Durch Verflechten mehrerer dünner Drähte kann man eine Art Hochfrequenzlitze herstellen.

Zum Schluß noch einige allgemeine praktische Winke für das Material. Die aus Holz gebauten Apparate gewinnen an Ansehen, wenn sie mit schwarzem Lack überzogen werden; größere Farben- und Drogengeschäfte führen geeigneten Lack, der gleichzeitig der Isolation dient. Ich verwende schwarzen Bakelitlack, der mir durch Vermittlung eines früheren Schülers zur Verfügung gestellt wurde.

Der Bau von Apparaten wird sehr erleichtert, wenn man einen Vorrat von passend zugeschnittenem Material besitzt. Für unsere Zwecke kommen z. B. in Frage: Holzleisten (10×10 mm, 20×20 mm, 20×40 mm, 20×60 mm, 13×100 mm, 6×100 mm), rundes Stabmessing 4 mm Durchm.; Messingrohr, äußerer Durchm. 5,5 mm, Wandstärke 0,75 mm; Bandmessing 20×1 mm; Messingschrauben mit Löwenherzgewinde 3 mm, mit geradem und versenktem Kopf; Muttern hierzu; Batterieklemmen und Glockenklemmen mit Kordelschraube, möglichst 3 mm-Gewinde; Messingunterlegscheiben 4, 5, 6 mm Lochweite 0,5 und 1 mm dick; Hartgummiplatten und -streifen wird man sich von Fall zu Fall in den einschlägigen Geschäften schneiden lassen, jedoch läßt sich Hartgummi ganz gut mit einer nicht zu feinen, geschränkten Spannsäge (Tischlersäge) zerteilen; die gesägten Flächen werden mit grobem Flint-(Glas)-papier eben geschlifen.

Die Explosionsversuche mit vergasten Flüssigkeiten.

Fortsetzung des Aufsatzes: Die Versuche mit explosiven Gasgemischen, besonders in ihrer Beziehung zum modernen Kraftmaschinenwesen[1]).

Von Prof. **Otto Ohmann** in Berlin-Pankow.

Handelte es sich bei den bisher in sechs Versuchsreihen mitgeteilten Explosionsversuchen, trotz des Hinblickes auf die technische Verwertung, vorwiegend um didaktische und theoretische Zwecke, um das Hineinleben in das Wesen der Gasexplosionen, so überwiegt bei den nun folgenden Versuchen mit vergasten, kohlenstoffreichen Flüssigkeiten die rein praktische Bedeutung, das Interesse, das die Schüler den Motoren der Automobile und Flugzeuge entgegenbringen. Von Stoffen stehen hier in erster Linie Benzin (Petroleumbenzin) und Benzol, mit deren Gemisch z. B. alle Automobilmotoren gespeist werden. Entsprechend der kurz dargelegten historischen Entwicklung wären für den Unterricht erwünscht, oder geradezu methodisch erheischt, Demonstrationsversuche mit Benzol- und Benzin-Luftsauerstoff-Gemischen unter erhöhtem Druck und mit elektrischer Zündung. Solche Versuche liegen für den Unterricht m. W. bis jetzt nicht vor. Nach Umfrage fehlen sie auch für den Hochschulunterricht.

So erstrebenswert es ist, diese Versuche zu besitzen und, wenn möglich zu Messungen benützen zu können, so dürften sie, wegen der Unfallmöglichkeit, für den Unterricht doch etwas heikel sein. Wir werden uns wohl einstweilen weiter mit Versuchen unter Atmosphärendruck behelfen müssen. Was in dieser Beziehung bis jetzt in den Lehrbüchern und Techniken vorliegt, ist recht wenig befriedigend; Angaben über die Mischungskomponenten Luftsauerstoff und Flüssigkeit fehlen entweder oder sind zu unbestimmt und experimentell unzureichend — kurz, die bisherigen Versuche sind, mit einer einzigen Ausnahme, die nachher näher erörtert werden soll, nur qualitativ und grob-empirisch. Im folgenden wird, neben Einfachheit in den Versuchsmitteln und genauerer experimenteller Kennzeichnung, vor allem erstrebt, diese Versuche auf eine etwas festere quantitative Grundlage zu stellen.

Gehen wir zunächst von dem in den genannten Motoren viel mitverwendeten Benzol aus und lassen als Verbrennungsgleichung gelten:

$$2\,C_6H_6 + 15\,O_2 = 12\,CO_2 + 6\,H_2O,$$

wonach sich, auf Mole berechnet, rund 156 g Benzol mit 480 g (also etwa dem dreifachen Gewicht) Sauerstoff verbinden, so findet man leicht, daß unter normalen Bedingungen 1 Liter, d. h. 1,429 g Sauerstoff 0,4645 g Benzol zu oxydieren vermag. Nehmen wir zu den Versuchen z. B. einen mittelgroßen Fußzylinder von etwa 500 ccm Inhalt, der also rund 100 ccm Sauerstoff enthält, so vermögen letztere nur die winzige Menge von 0,04645 g Benzol zu oxydieren. Dies ist natürlich irgendwie zu veranschaulichen, am besten in Tropfen. Hinsichtlich Tropfengröße, Abtropfbedingungen usw. können wir nicht auf Abhandlungen in dieser Zeitschrift verweisen. Die Tropfengröße ein und derselben Flüssigkeit ist ja keineswegs etwas Konstantes, schwankt vielmehr, je nach der Beschaffenheit und Gestaltung der Abtropffläche, innerhalb ziemlich weiter Grenzen. Glücklicherweise ist sie aber durch die käuflichen medizinischen Tropffläschchen auf eine einigermaßen bestimmte Größe gebracht. Ärzte und Apotheker behaupten freilich, daß die Tropffläschchen alle ganz übereinstimmende Tropfengröße hätten. In der Apotheke und Drogenhandlung kaufte ich mehrere Tropfflaschen und erhielt mit Wasser beim Einzählen in eine 10 ccm-Mensur Tropfenzahlen, die nicht viel von einander abwichen (125, 128, 130, 136). Aus einer mittelgroßen Tropfflasche (von 200 ccm Inhalt) wogen (bei 14° C) 100 Tropfen Wasser 7,48 g; als ich den Stopfen herausnahm und über eine beliebige Stelle des Randes abtropfen ließ, wogen 100 Tropfen 6,72 g, so daß diese Wassertropfen ein Gewicht

[1]) Diese Zeitschrift 38, S. 78/85; 1925 und 37, S. 256/260; 1924.

von je 0,0748 g bzw. 0,0672 g hatten. — Vom Benzol (bezogen von R. Schering, Berlin) wogen 5 ccm 4,240 g; diese gaben beim Auszählen aus einem Tropffläschchen nicht weniger als 184 Tropfen. Ein solcher Benzoltropfen wiegt demnach nur 4,24 g : 184 = **0,023 g**. Aus der obigen Wägung ergibt sich das Gewicht von 1 ccm dieses Benzols (bei 14° C) zu 0,848 g; nach Landolt ist es 0,880 bei 20°, 0,899 bei 0°.

Beim Benzin ist das Tropfenvolumen ähnlich klein. Es wogen von dem benutzten Benzin (derselben Firma) 5 ccm 3,340 g. Diese gaben beim Auszählen 191 Tropfen. Ein solcher Benzintropfen wiegt also fast **0,0175 g**. Beim Auszählen einer größeren Menge Benzin, 21 ccm, ergab sich, daß ihr Volumen auf wenig mehr als 18 ccm zurückging, so daß bei der Operation gegen 3 ccm (14%) verdunsteten. Für unsere Versuche ist dies aber von keinem Belang, da beim Eintropfen in ein größeres Gefäß die Hauptmenge des schweren Dampfes darin zurückbleibt. Aus der obigen Wägung ergibt sich beiläufig noch das spezifische Gewicht dieses Benzins zu 0,668 g. Man sucht sonst vergeblich nach dieser Zahl; das hängt damit zusammen, daß das Benzin kein scharf definiertes, sondern ein etwas wechselndes Gemenge von (hauptsächlich) Hexan und Heptan ist. Nur eine Angabe fand ich sonst: „Leichtbenzin 0,70 g, Schwerbenzin 0,73 g".

Diese Werte für die Tropfengröße sind nun von grundlegender Bedeutung für unsere Versuche, denn sie geben uns einen Anhalt über die zu verwendenden Mengen. Es geht z. B. sogleich daraus hervor, daß die oben für 100 ccm Sauerstoff im Halbliterzylinder errechneten 0,04645 g Benzol fast genau 2 Tropfen aus dem angewandten Tropffläschchen entsprechen (2 · 0,023 g). Der entsprechende Wert für Benzin werde bei den Versuchen selbst berechnet. — Im Vordergrunde stehen, die Versuche mit Luftsauerstoff-Gemischen des Benzins und Benzols. Für die erste Versuchsgruppe werden in den Lehrbüchern und Techniken fast ausschließlich zylindrische Gefäße (Fußzylinder, Röhren) verwendet — wir wollen sehen, mit welchem Recht. Sie haben allerdings den Vorzug großer Bequemlichkeit, z. B. auch hinsichtlich schneller Reinigung, die hier oft erwünscht ist.

I. Die Versuche mit Gemischen von Luftsauerstoff mit Benzin und mit Benzol.

Versuchsreihe 1. Benzinversuche in Fußzylindern. Verwendet wurden Zylinder verschiedener Größe, zunächst mittelgroße, kräftige mit folgenden Abmessungen: Höhe 25,5 cm, lichte Weite 55 mm, Inhalt 580 ccm, Glasgewicht 580 g; daneben ein zweiter, ähnlich gebauter von 610 ccm Inhalt. Nach dem Eintropfen und Bedecken erfolge das Mischen in kräftiger, mehr kreisender als schüttelnder Bewegung. Die Entzündung geschieht entweder von oben mit langem Holzspan (Holzdraht) oder seitlich, bei horizontal gelagertem Zylinder, oder auch in Anbetracht der Schwere der Dämpfe, von unten, indem der mit Deckplatte bedeckte Zylinder über eine ganz klein gestellte, leuchtende Bunsenflamme (Brenner auf größerer Asbestpappe) gebracht und dann sogleich die Deckplatte fortgezogen wird.

1. Schon 1 Tropfen gibt — entsprechend der ungewöhnlichen Leichtigkeit, mit der das Benzin verdunstet — zuweilen ein gewisses Resultat: beim Entzünden von oben huscht lautlos eine bläuliche Flamme bis zum Boden.

2. Bei 2 Tropfen (nach geschehener Reinigung): dasselbe, mit ganz schwachem Geräusch.

3. Bei 3 Tropfen: ein schwaches Pfeifen.

4. Bei 4 Tropfen ist das Maximum der Wirkung bereits überschritten: eine größere gelbe Flamme gleitet langsam bis zum Boden. — Mehr Tropfen sind unnötig, es wird nur die Brenndauer verlängert. Beim seitlichen oder unteren Entzünden ergeben sich keine besonderen Vorteile. — Für Versuch 1 und 2 ist es nützlich, die Holzspanflamme nicht bloß an die Mündung zu halten, sondern den Holzspan mit der

Tiegelzange zu ergreifen, senkrecht nach unten einzuspannen, zu entzünden und dann mit der Flamme gebenenfalls etwas tiefer in den Zylinder zu tauchen.

Um nun zu erkennen, was die angewandten Tropfenmengen zu besagen haben, sei wieder von der Verbrennungsgleichung ausgegangen. Nach dieser Gleichung beim Hexan:

$$2\,C_6H_{14} + 19\,O_2 = 12\,CO_2 + 14\,H_2O$$

verbrauchen rund 172 g Hexan 608 g Sauerstoff. Auf 1,429 g (1 l) Sauerstoff kommen demnach 0,3211 g Hexan, auf die 100 ccm im Halbliter-Zylinder also 0,03211 g Hexan. — Beim Heptan:

$$C_7H_{16} + 11\,O_2 = 7\,CO_2 + 8\,H_2O$$

verbrauchen rund 100 g des Stoffes 352 g Sauerstoff, so daß auf 1 l des letzteren 0,406 g, also auf die obigen 100 ccm 0,0406 g Heptan kommen. Nehmen wir im Benzin etwa ein molekulares Gemenge beider Kohlenwasserstoffe an, so werden die 100 ccm Sauerstoff von je der Hälfte dieser Werte beansprucht, also von 0,016055 g + 0,0203 g = 0,03636 g Benzin. Das sind nach der obigen Grundzahl von 0,017 g fast genau 2 Tropfen Benzin. Sofort wird alles klar. Der eine Tropfen von Versuch 1 genügt nicht, um den Sauerstoff zu verzehren, der übrige Sauerstoff dient mit als Dämpfung. Bei Versuch 4 ist umgekehrt verdampftes Benzin im Überschuß. Daß das Maximum nicht schon bei 2 Tropfen liegt, beruht wohl auf der bei kurzer Mischungszeit noch unvollkommenen Diffusion, oder mehr noch auf der Adsorption von Benzindampf an der Gefäßwandung. Beim obigen Zylinder spricht natürlich auch die über 500 etwas hinausgehende ccm-Anzahl mit.

Versuche mit einem Halbliter-Zylinder wurden hier deshalb an den Anfang gestellt, weil diese Raumgröße am meisten den wirklichen Verhältnissen im Automobilmotor entspricht. Hier haben die 4 Zylinder[1]) des Viertaktmotors zusammen einen Inhalt von 2 Litern; beim „Kompressionshub“ (*vgl. d. Zeitschr. 37, 259 u.*) wird der Halbliter des einzelnen Zylinders im „Kompressionsraum“ auf $^1/_5$ zusammengepreßt. Leider sind diese Versuche, wie aus obigem hervorgeht, zur Vorführung oder zu Schulversuchen wenig geeignet. Der Wert dieser Versuche und Berechnungen besteht aber darin, daß sie zeigen, wie winzige Mengen Brennstoff bei der Explosion im einzelnen Automobil-Zylinder verbraucht werden, daß also der Brennstoff ungemein ausgiebig ist. Wie sich das summiert, wenn man die große Tourenzahl in der Minute (2000 und darüber, bei vollem Betrieb) berücksichtigt, ist eine andere, rein praktische Frage. Diese winzigen Mengen lassen sich jedoch auch leicht aus lohnenderen Versuchen, zu denen wir jetzt übergehen wollen, ableiten.

5. Verwendet wurde ein Fußzylinder von 1330 ccm Inhalt, Höhe 40,9 cm, lichte Weite 61 mm. Er gab erst bei 8 und 9 Tropfen Benzin einen mäßig starken Brummton.

6. Bei 10 Tropfen erfolgte als Maximum ein erheblicher schußähnlicher Explosionston.

7. Bei 11 Tropfen noch starker U-Ton, der tief begann und sich etwa durch eine Oktave in die Höhe zog.

8. Bei 12 ging die Flamme tonlos nach unten mit welligem Wogen an der jeweiligen Oberfläche.

Entsprechend den obigen Versuchen 1—4 sollte das Maximum für die 1330 ccm, bzw. die 1330 ccm : 5 = 266 ccm Sauerstoff etwa schon bei 8 Tropfen liegen; es verschiebt sich also ein wenig zuungunsten des Brennstoffes. Noch stärkere Wirkungen, aber auch Abweichungen, traten bei einem 4 l-Zinder (wie er für die Atmungsversuche [*ds. Zeitschr. 29, 321*] benötigt wird) ein.

9. Erst bei 20—25 Tropfen stellte sich ein sehr starker Ui-Ton ein.

[1]) Neuere Straßenautomobile arbeiten auch mit 6 Zylindern.

10. Bei 30—35 zeigte sich das lautlose wellige zitternde Senken der Flammen wie bei Versuch 8.

Versuchsreihe 2. Benzolversuche in Fußzylindern. Benzol verdunstet wesentlich langsamer als Benzin, es haftet lange am Glase. Um den Vorgang bei größeren Tropfenmengen (schon von 5 Tropfen an) zu beschleunigen, bedecke man nach dem Eintropfen mit der Deckplatte *b*, lasse durch Wenden die Tropfenmenge von *a* bis nahe *b* fließen, so daß ein Hauptstrom *ab* entsteht, von dem beim Horizontalstellen und langsamem Drehen um die Längsachse etliche Nebenströme *c* ausgehen (Fig. 1), die man bis zum Aufhören des Fließens verfolgt. Auch bei weniger Tropfen mische man durch drehendes Schwenken wenigstens 1 Minute lang. Dennoch dürfte immer ein gewisser Teil am Glase haften bleiben. Verwendet wurde wiederum der Fußzylinder von 580 ccm Inhalt.

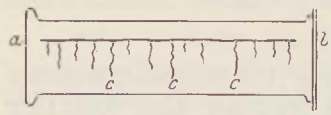


Fig. 1.

11. Demgemäß geben 1—2 Tropfen noch kein Resultat; bei 3 und 4 Tropfen geht eine Flamme fast lautlos zum Boden.

12. Bei 5 Tropfen stellt sich ein nennenswertes Pfeifen ein, stärker als beim Benzin in Versuch 3. Bei 6 Tropfen ist das Maximum, das nach weiteren Versuchen noch etwas vor 5 Tropfen liegt, schon überschritten: das Gemisch brennt langsam nach unten ab.

13. Im Zylinder von 1330 ccm Inhalt (Versuch 5) gaben 11 Tropfen eine starke Wirkung.

14. Im 4 l-Zylinder 22 und 23 Tropfen gleichfalls.

Den 5 Tropfen des Optimums beim Benzol entsprechen $0{,}023\,\text{g} \cdot 5 = 0{,}115\,\text{g}$; diese kommen auf 580 ccm; auf 1 l demnach 0,198 g. Diese Zahl stimmt wenig überein mit dem Wert „0,121 g in 1 Liter“, den O. Binder in einem Selbstbericht über seine Explosionsversuche (*ds. Zeitschr. 28, 97*) angibt. Selbst wenn wir in Versuch 12 nur 4 Tropfen annehmen, was sicher zu gering ist, ergibt sich immer noch ein Wert von fast 0,160 g. Noch weniger können meine Versuche den dort beim Benzin für das Maximum angegebenen Wert von „0,073 g in 1 Liter“ bestätigen. Besonders stark differiert damit das Ergebnis von Versuch 6; die 10 Tropfen im 1330 ccm-Zylinder geben auf 1 l umgerechnet, nicht weniger als 0,1315 g. Da in jenem Bericht nähere Versuchsbedingungen nicht angegeben sind, möchte ich einstweilen mit meinem Urteil zurückhalten und mich darauf beschränken, die Unstimmigkeiten festzustellen. Für alle vorstehenden Versuchsbedingungen muß ich natürlich an meinen Ermittelungen festhalten.

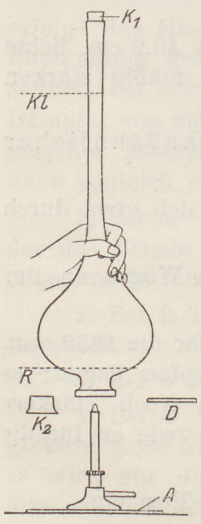


Fig. 2.

So läßt sich also die starke Wirkung, die winzige Mengen von Benzin und Benzol in den Explosionsmotoren zweifellos entfalten, an kleineren Fußzylindern von den Abmessungen der Automobilzylinder leider wenig zeigen, etwa ebenso wenig, wie man die großen Wirkungen des Schwarzpulvers oder der Schießbaumwolle nicht beim Abbrennen an der Luft auf Asbestpappe nachweisen kann. Es bedarf der Widerstände, eines mehr abgeschlossenen Raumes. Beim Suchen nach besseren Wirkungen probierte ich auch die Rosenfeldsche Explosionspipette, bei der sich eigenartige Vorteile herausstellten.

Versuchsreihe 3. Benzin- und Benzolversuche mit der Rosenfeldschen Pipette. Nach Aufrechtstellung der Pipette (mit schwacher Neigung) tropfe man durch die Hauptöffnung ein, so daß die Tropfen noch in die Kugel fallen, wo sie sich besser verbreiten, verkorke mit K_2 (Fig. 2; K_1 bleibt dauernd stecken und wird nur beim Reinigen gelöst) und mische durch Schütteln. Die Entzündung erfolgt von unten.

15. Benzin. Entsprechend dem größeren Volumen (Kugel $1^1/_2$ l, insgesamt 1640 ccm) führen 1 und 2 Tropfen zu keinem Resultat (schon bei 2 Tropfen brennt zuweilen, beim Einführen der Holzspanflamme, das Gasgemisch innerhalb der Kugel milde ab). Bei 3 Tropfen fährt eine Flamme schwach heraus, bei 4 mit Zischen, das bei 5—7 Tropfen immer heftiger wird und sich bei 8—10 Tropfen zum Maximum steigert, um von da an nachzulassen; bei 13 Tropfen fährt nur eine große Flamme heraus.

16. Benzol. 1 und 2 Tropfen sind ohne Wirkung, bei 3 leichtes, bei 4—6 immer heftigeres Zischen, bei 7 und 8 stärkstes, bei 9 noch lebhaftes Zischen, das selbst bei 12 noch recht stark ist, obgleich hier schon eine größere Flamme immer einen Augenblick nachbrennt. Es liegt also hier, auch schon beim Benzin, ein ziemlich großer Spielraum für gute Wirkungen vor. Die optimalen Versuche sind auch bei der Entzündung von oben ziemlich wirksam. Das Entzünden von der Seite vermeide man, da der herausschießende heiße Flammenstrahl Schaden anrichten kann.

Bei der Vorführung nur eines der als wirksam gekennzeichneten Versuche kann man auch eleganter verfahren. Die Pipette mittels Klemme und Ring (in Fig. 2 angedeutet) am Stativ befestigen, mit der Deckplatte D verschließen, und letztere erst fortziehen, sobald man den Brenner mit sehr kleiner Flamme darunter gestellt hat; die Asbestpappe A dient zum Schutz des Tisches. — Will man jedoch eine gewisse Anzahl von Versuchen ausführen — was sich rechtfertigen läßt, um einmal einen Einblick zu gewähren, wie durch einen Reihenversuch ein optimaler Bereich ermittelt wird — so halte man bei diesen ganz ungefährlichen Versuchen die Pipette in der linken Hand, löse, behufs Reinigung nach einem Versuch, auch K_1, schwenke einigemal kräftig nach unten, um die Abgase zu entfernen, und reinige den Innenraum durch Einführen eines leinenen Tuches ($\sim 50:25$ cm), das an einem Zipfel mit einem längeren starken Bindfaden verknotet ist, der teilweise draußen bleibt, und schüttele teils bei wagrechter, teils bei senkrechter Haltung kräftig drehend, dann ist der Wasserbeschlag in kurzer Zeit entfernt. Um nach dem Eintropfen und Mischen jedesmal die Entzündung sicher vorzunehmen, fasse man den (längeren) Holzspan immer nur mit einer Tiegelzange, ihn rechtwinklig einspannend, dann ist die Hand vollkommen geschützt; um noch Daumen und Zeigefinger der rechten Hand frei zu haben, faßt man die Tiegelzange mit der ganzen Hand derart, daß die beiden runden Griffe von den drei letzten Fingern und der Maus des Daumens umklammert werden, lockert dann mit Daumen und Zeigefinger den festsitzenden Kork K_2 ein wenig, entzündet den Holzspan am oberen Ende an einer Bunsenflamme, entfernt mit Daumen und Zeigefinger den Kork völlig und fährt möglichst schnell mit der Flamme senkrecht in die Öffnung hinein. Keinesfalls darf man mit einem in der Hand gehaltenen Streichholz entzünden, kaum mit einem langen, rechtwinklig geknickten Holzspan. Dieses Beschützen der Hand ist die einzige Vorsicht, die man bei den Pipettenversuchen zu beobachten hat. Für einen Reihenversuch eignen sich die Versuche mit Benzin, wegen der kürzeren Mischzeit, besser als die mit Benzol.

Versuchsreihe 4. Versuche mit Gefäßen anderer Form. Wem weder die Rosenfeldsche Pipette noch größere Fußzylinder zur Verfügung stehen, kann die Explosionswirkungen auch mit kräftigeren, anders geformten Gefäßen erreichen.

17. So ergab sich mit einer gewöhnlichen (gereinigten und wohlgetrockneten) Weinflasche von $^3/_4$ l bei 4 Tropfen Benzin und Entzünden von oben eine ansehnliche Schußwirkung.

18. Selbst mit einer Halbliter-Seltersflasche erfolgte ebenso bei 2 Tropfen und noch mehr bei 3 Tropfen eine stärkere Momentanwirkung (auf Schutz der Hand ist zu achten). Das sind allerdings keine schulmäßigen Gefäße, das wird aber nichts verschlagen.

19. Wer jedoch in dieser Beziehung strenger sein will, der greife zum Jenaer Rundkolben von nominell „700 ccm“, dessen Widerstandskraft vom Verf. schon bei anderer Gelegenheit (im Unfallverhütungsbuch) gerühmt wurde. Dieses Gefäß gibt in der Tat ganz überraschende Resultate: schon bei 3 Tropfen Benzin, mehr noch bei 4 Tropfen (ähnlich auch mit Benzol) erfolgt beim Anzünden von oben ein starkes volltönendes Verpuffen. Ja, wer aus Zeitmangel nur einen einzigen von allen bisher mitgeteilten Versuchen machen möchte — etwa der diesen Versuchsreihen ferner stehende Physiker —, dem empfehle ich diesen Rundkolbenversuch, und zwar den weiter unten erwähnten wirksamsten (Nr. 23). Der Gesamtinhalt dieses Kolbens, auf den es beim Versuch ankommt, ist übrigens erheblich größer: 840 ccm. Der Jenaer Liter-Rundkolben ($J = 1175$ ccm) bewährte sich gleichfalls. Auch Dreiviertelliter- und Einliter-Stehkolben wurden mit Erfolg ausprobiert (man mag zuerst mit Handtuch umwickeln). Bei allen Kolbenversuchen ist es notwendig, mit der Flamme des langen (mit Tiegelzange gefaßten!) Holzspanes schnell bis zum Bauch des Kolbens vorzudringen.

Versuchsreihe 5. Versuche mit Benzin-Benzol-Gemischen. Reines Benzin wird kaum noch in Automobilen verwendet. Es stellt sich bei seinem Gebrauch das sogenannte „Klopfen“ ein, d. h. das Benzin-Luft-Gemisch wird beim Komprimieren auf $^1/_5$ seines Raumes, thermodynamisch auf die Entzündungstemperatur gebracht, vorzeitig, ehe die elektrische Zündung einsetzt. Durch Beimischen des schwerfälligeren Benzols wird das hintangehalten. Man verwendet verschiedenartige Gemische, mit 10—50% Benzol. — Aus diesem praktischen Grunde empfiehlt es sich sehr, mindestens einen solchen Mischungsversuch im Unterricht vorzunehmen. Es wurden verschiedenartige Mischungsverhältnisse durchprobiert, mit allen bisher hier verwendeten Gefäßen. Es sei nur einiges daraus hervorgehoben. Bei den kleineren (Halbliter-)Fußzylindern ergab sich nichts Besonderes.

20. Beim 1330 ccm-Zylinder gaben 3 Tropfen Benzol + 6 Tropfen Benzin eine starke Wirkung.

21. Beim 4 l-Zylinder ebenso 6 Benzol + 12 Benzin.

22. Bei der Rosenfeldschen Pipette war ein Gemisch von 4:4 sehr günstig, auch beim Entzünden von oben. Auch 3 Benzol + 5 Benzin gaben eine heftige Wirkung.

23. Im Jenaer 700 (bzw. 840) ccm-Rundkolben gaben 2 Benzol + 3 Benzin ein überraschend starkes Resultat, eine kräftige Momentanwirkung, die wie ein Schuß ausklang. —

Das sind im wesentlichen die Versuche, die den Explosionsvorgang im Automobilzylinder einigermaßen veranschaulichen, weil die Explosionsgemische den dort wirklich vorhandenen ungefähr entsprechen. Sie geben trotz allem kein ganz befriedigendes Bild von der dortigen großen Energieentfaltung. Bis wir daher bessere Versuche haben, wird es erlaubt sein und läßt es sich wohl didaktisch rechtfertigen, die dort so wirksame Kompression des Gemisches durch höhere Sauerstoffkonzentration zu ersetzen. In diesem Sinne mögen beim Explosionsmotor noch einige der folgenden Versuche mit herangezogen werden.

Versuchsreihe 6. Versuche mit Gemischen von vergasten Flüssigkeiten und reinem Sauerstoff.

Es handelt sich zunächst darum, Benzol und Benzin in lufterfüllten Gefäßen unter Beimengung von Sauerstoff oder am besten gleich in reinem Sauerstoff zu oxydieren. Wiederum geben uns die oben durchgeführten Berechnungen über das Tropfengewicht und die Verbrennungsgleichungen den nötigen Anhalt und weiteren Aufschluß. Wollen wir z. B. Benzol in Sauerstoff verbrennen, so erkennen wir aus der oben S. 193 ermittelten Angabe „1 l Sauerstoff vermag 0,4645 g Benzol zu oxydieren“, unmittelbar, daß auf 1 Halbliter-Zylinder im Maximum 0,23225 g kommen. Das sind, entsprechend dem Tropfengewicht von 0,023 g, rund 10 Tropfen aus einer

Tropfflasche. Mehr Tropfen sind unnötig, sie finden keinen Sauerstoff mehr vor und werden vermutlich, wie sonst bei Mangel an Sauerstoff, zu einer Abscheidung von Kohlenstoff führen (vgl. Versuch 26). Die Wirkung einer geringeren Anzahl Tropfen ist dagegen zwar schon abzuschätzen, aber doch im einzelneu durch Untersuchung festzustellen. Die Füllung mit Sauerstoff geschah aus der Stahlflasche durch Luftverdrängung. Bei Benzol ist nach Eintropfen in den gaserfüllten Zylinder wenigstens 1 Minute lang zu mischen. Die Entzündung geschehe von oben, nicht mit dem Holzspan (da hier zuweilen Holzteilchen sich ablösen, niederfallen und zu unliebsamer Kohlenstoffabscheidung führen), sondern mit der entleuchteten Flamme des wagrecht herangeführten Brenners.

24. 1 und 2 Tropfen Benzol gaben kein Resultat. (Ganz beiläufig: bei 2 Tropfen ergab auch Entzündung von unten nichts, dagegen beim liegenden Zylinder schlüpfte eine Flamme pfeifend nach innen; beide Entzündungsarten sind aber sonst bei diesen Versuchen zu verwerfen.)

25. 4 und 5 Tropfen Benzol gaben bereits einen heftigen Knall, der sich bis zu 11 Tropfen immer weiter steigert.

26. Bei 12 Tropfen findet noch eine sehr starke Explosion statt, doch zeigt sich bereits deutliche Rußbildung im Zylinder.

Mit Benzin sowie Benzin-Benzol-Gemischen verlaufen die Versuche ähnlich heftig. Wie die Versuchsreihe beim Benzol, mit Maximumüberschreitung, zeigt, sind Fußzylinder aus kräftigem Glase dem Explosionsdruck völlig gewachsen. Da die Wirkung in Halbliter-Zylindern schon ungemein stark ist, sollte man noch größere vermeiden. Daß man die Versuche nicht in anderen Gefäßen, vor allem nicht in Kolben oder Flaschen, auch nicht in der Explosionspipette vornehmen wird, ist selbstverständlich. Vielmehr genügen auch noch kleinere Fußzylinder, bis zum Viertelliter; hier überrascht gerade die noch so heftige Wirkung bei so kleiner Menge des Gemisches, während der Versuch selbst ganz gefahrlos ist. Es bedarf daher nicht der Umständlichkeit, die damit verknüpft ist, wenn man einen Sauerstoffstrom durch eine kleine Woulfesche Flasche mit Benzin und dann in Seifenwasser leitet, um den Blasenberg zu entzünden — wie das F. BRANDSTÄTTER in seiner trefflichen Sammlung „Chemische Schulversuche“ empfiehlt. Auch die Beschaffung eines besonderen Apparates (einer Stahlröhre von 8 cm lichter Weite, unten noch mit abgehendem kleineren Rohr), wie ihn J. LANG *(ds. Zeitsschr. 25, 290)* empfiehlt, erscheint nicht notwendig; die oben angebrachte Lumenverengerung (bis auf 3—4 cm) verstärkt wohl die Schallwirkung erheblich, erschwert aber die so wichtige, immerfort nötige Reinigung. Übrigens können sehr starke akustische Wirkungen auch vom Übel sein. Wir denken an die zahlreichen nervös angelegten Großstadtkinder, an die neuerdings in der Jugend recht oft auftretenden Mittelohrerkrankungen. Jedenfalls ist dringend zu raten, bei allen Explosionsversuchen kurz vor dem Eintreffen „Achtung“ zu rufen.

Zu den letzten Explosionen in Sauerstoff (Nr. 24/26) wurden auch noch Versuche angestellt, um den Explosionsdruck mit der Federwage zu messen, ähnlich wie in den letzthin mitgeteilten Versuchen *(ds. Zeitschr. 37, 256)*, jedoch mit aufrecht auf der Wage stehendem Zylinder, über dessen Öffnung oben eine starke Asbestpappe in verschiedenem Abstand fest am Stativ angebracht war; die Stoßwirkung bei der Explosion betrug z. B. für 6 Tropfen Benzin auf die 580 ccm O_2 bei einem Abstand von 2,5 cm 600 g; für 6 Tropfen Ligroin bei 1,5 ccm Abstand 850 g. — Zu den Erscheinungen selbst wäre noch manches Optische und Akustische zu erwähnen; so gab es sonderbare Flammenbilder, zuweilen auch mehrere Sekunden anhaltende singende (besser: brummende) Flammen. Anderseits soll nicht verschwiegen werden, daß bei den Versuchen öfters unkontrollierbare Zufälligkeiten eine gewisse Rolle spielen, die den Erfolg erheblich beeinträchtigen können; meist dürfte zu kurze Mischungsdauer oder mangelhafte Reinigung und ungenügende Abkühlung des Gefäßes die Ursache sein.

Auf nähere Einzelheiten bei den entsprechenden Versuchen mit anderen Stoffen, wie Alkohol, Äther, Schwefelkohlenstoff, die für die Explosionsmotoren keine Bedeutung haben, brauchen wir hier nicht einzugehen; sie ergeben sich aus dem Vorangegangenen von selbst, zumal bei Hinzuziehung der Verbrennungsgleichung. Schon wenige Tropfen im Sauerstoffzylinder geben starke Wirkungen; beim Schwefelkohlenstoffversuch, der mit schöner Flammenfärbung aber auch mit lästiger Schwefelabscheidung verbunden ist, gelingt die Entzündung mit der Glühnadel.

In methodischer Hinsicht sei bemerkt, daß darauf verzichtet wurde, bei den einzelnen Versuchen anzugeben, was sich für Schülerübungen eignet; es wird das jeder beim Durchprobieren leicht selbst entscheiden können. Vieles davon ist für diese Zwecke, besonders für Gruppenübungen, recht gut geeignet. — Was in experimenteller Hinsicht die hier mitgeteilten Versuche von den bisher vorliegenden unterscheidet, das ist die bestimmtere und einfachere Dosierung und die damit gegebene größere Sicherheit des Gelingens. Selbst wenn z. B. das bezogene Benzin oder Benzol von dem hier verwendeten erheblich abweichen sollte, wird man durch wenige Vorversuche leicht den Reduktionsfaktor ermitteln und sich dann nach den hier angegebenen Dosierungen richten können. Da auch in jedem physikalischen Kabinett Benzol und Benzin, eine Sauerstoff-Stahlflasche und kräftige Fußzylinder vorhanden sein werden, so können die hauptsächlichsten dieser Versuche auch vom Physiker bei Gelegenheit des Eingehens auf die Explosionsmotoren leicht und gefahrlos ausgeführt werden.

— —

Die vorstehenden Versuche wollen den Explosionsmotor bei seinem chemischen Kernstück, bei der arbeitsleistenden Explosion erfassen. Wünschenswert oder erwägenswert ist ja noch das Eingehen auf manches andere, z. B. auf den in verschiedener Hinsicht lehrreichen Vergaser, auf die Wirkung der Kompression auf das im Kompressionsraume befindliche Gasgemisch, auf die dynamoelektrisch erfolgende Zündung mit ihren 50000 Volt u. a. Hier liegt noch ein weiteres Feld für experimentelle und methodische Betätigung vor. Hierzu möchten die vorstehenden Versuche gleichfalls die Anregung geben. Alle solche Versuche an dem Explosionsmotor, diesem in unsere gesamte Kultur — nicht bloß Zivilisation — so tief eingreifenden Ingenieurkunstwerk, können bei richtiger Verknüpfung mit dem übrigen Lehrstoff den Unterricht ungemein beleben. Der dankbarsten Aufnahme seitens des Schülers (bei welchem Wort wir stets die Schülerin mitmeinen) können sie sicher sein; sie werden seine Tatkraft anspornen, ihn zu eigenen Versuchen anregen, seinen Blick erweitern — kurz, im Schüler den ganzen Menschen, nicht bloß sein physikalisches und chemisches Verständnis fördern.

Kleine Mitteilungen.

Über die Herstellung eines einfachen und billigen Leuchtschirms zur Demonstration der ultravioletten und Röntgen-Strahlen.

Von Prof. Dr. W. Steubing in Aachen.

Aus Anlaß einer Untersuchung im ultravioletten Spektrum, die bis an die Grenzen des überhaupt in Luft beobachtbaren Gebietes führte, erwies es sich als notwendig, nach einem Hilfsmittel zu suchen, um ohne kostspielige und zeitraubende photographische Aufnahmen die vorläufige Einstellung der Spektralapparate vornehmen zu können. Es ergab sich dabei eine einfache Methode, die nicht nur zu obigem Zwecke brauchbar war, sondern auch ein Mittel lieferte, Leuchtschirme auf bequeme und vor allem billige Weise herzustellen, was vielleicht auch für manche Zwecke im Unterricht nicht unwillkommen sein dürfte.

Das von mir benutzte Material war Uranylfluorid-Fluorammonium, eine Substanz, die in reiner fein pulverisierter Form von den großen chemischen Fabriken zu mäßigem Preis zu erhalten ist (100 g ca. 8 Mk.). Die fein pulverisierte Art ist wesentlich notwendig für die Herstellung des Leuchtschirms. Aus Versuchen ergab sich, daß keine bislang benutzte Substanz (z. B. Uranglas, Bariumplatincyanür) eine für das Auge ähnlich kräftige Fluoreszenzfähigkeit besitzt, wie die erwähnte Substanz, soweit es das ultraviolette Gebiet betrifft. Im Röntgenstrahlenspektrum ist allerdings das Bariumplatincyanür dem anderen Präparat (Uranylfluorid-Fluorammonium) überlegen, aber es hat den Nachteil des sehr hohen Preises.

Im folgenden sei kurz angegeben, in welcher Weise das Pulver zur Herstellung eines Leuchtschirms verwendet werden kann. Je nachdem der Schirm nur für einen Teil des Spektrums benutzt werden, oder möglichst alle ultravioletten Strahlen nachweisen soll, soweit sie die Luft durchdringen können, muß die Herstellungsweise gewählt werden. Die Grenzwellenlänge, die in Luft vermittels Quarz- oder Hohlprisma (aus Quarzplatten mit Füllung von destilliertem Wasser) noch wahrnehmbar ist, liegt bei der Wellenlänge 1856 A. E. und ist nur mit einem stark kondensierten Aluminiumfunken zu demonstrieren, während z. B. die Quarzquecksilberlampe nur bis 2500 A. E. ein kräftiges Spektrum liefert. Unterhalb dieser Wellenlänge eignen sich gut noch der elektrische Lichtbogen zwischen Eisen- und Kupferelektroden. Bei der Demonstration ganz kurzwelligen Lichts ist darauf zu achten, daß schon die Luft von Atmosphärendruck die Wellenlängen kleiner als 2000 A. E. sehr stark absorbiert, es darf also zwischen Funke, Prisma und Leuchtschirm keine Luftschicht von mehreren Meter Länge liegen, wenn man das Spektrum des Aluminiumfunkens zeigen will, sondern die Luftschicht ist möglichst gering zu halten. Wer über ein mit Quarzplatten verschließbares Rohr verfügt, kann auf einfache Weise die Absorption bei verschiedenen Gasen demonstrieren, indem in den Strahlengang einmal das luftgefüllte, dann das mit Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Kohlensäure gefüllte evtl. auch evakuierte Rohr geschoben wird; die Luftabsorption ist wesentlich durch den Sauerstoff bedingt, während Stickstoff und besonders Wasserstoff noch gut durchlässig sind.

Zu diesen Versuchen darf der Schirm nur mit einer ganz oberflächlich haftenden Fluoreszenzschicht versehen sein, ungeschützt durch Glas oder Lack, während er für Versuche im Ultraviolett bis an die starke Quecksilberlinie 2536 A. E. oder im Röntgenspektrum besser in dickerer Schicht evtl. durch Lack geschützt verwendet werden kann.

Für ersteren Zweck verfährt man am besten so: Ein photographisches Entwicklungspapier (Bromsilber- oder Gaslicht) wird bei Tageslicht im Entwickler geschwärzt, fixiert und gründlich gewässert. Zum Trocknen wird es mit Reißbrettstiften horizontal auf eine Unterlage gespannt und sobald es soweit getrocknet ist, daß die Gelatineschicht noch gerade klebrig ist, mit dem Uranylfluorid-Fluorammonium aus einem feinen Sieb in dünner gleichmäßiger Schicht bestreut. Man verreibt mit dem Daumenballen das Pulver kräftig auf der ganzen Schicht und läßt fertig trocknen. Es bleibt dabei oberflächlich genug haften, obschon die größte Masse dabei abfällt. Ein geeignetes Sieb kann man sich leicht herstellen, indem man aus Draht einen kleinen an einem Stiel befindlichen Zylinder biegt (siehe Figur) und diesem mit feinmaschigen Stoff (Mull oder dergl.) überzieht.

Anders liegt die Sache, wenn man zur Demonstration auf das kurzwelligste Licht des Ultraviolett verzichtet und einen Schirm besonders noch für Röntgenstrahlen benutzen möchte. In diesem Falle muß man eine wesentlich dickere Schicht — aber gleichmäßig — aufstreuen und, um beim Trocknen das Abfallen von der Ober-

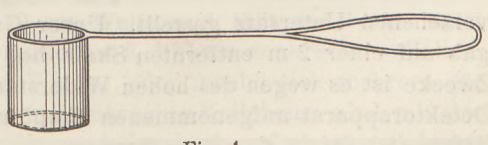


Fig. 1.

fläche zu vermeiden, ist es bequem, das betreffende Bromsilberblatt auf eine warme Unterlage oder in die Sonne zu legen, aber nur so lange, bis die halbtrockene Gelatine durch die Wärme soweit schmilzt, daß das ganze aufgestreute Pulver einsinkt und in die Gelatine gebettet eintrocknet.

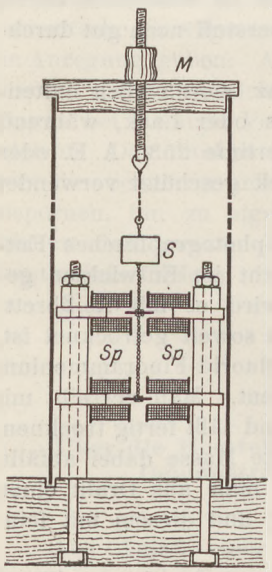
Selbstverständlich kann man statt photographischem, gelatiniertem Papier auch solches mit einem anderen Überzug (Gummiarabikum oder dergl.) verwenden, wenn nur der letztgenannte Zweck erreicht werden soll.

Daß man dies Verfahren auch benutzen kann, um Glasplatten zur Durchsicht in ähnlicher Weise zu präparieren (vgl. diesbez. Mittlg. des Verf. in der *Physik. Zeitschr., Jahrg. 26, Heft 8, S. 329*) sei hier nur erwähnt, da es mehr zur subjektiven Beobachtung und als Hilfsmittel für spektrographische Zwecke in Betracht kommt.

Herstellung eines Spiegelgalvanometers.

Von **P. Nickel** in Berlin.

Der Wunsch, die im Empfangsapparat ankommenden Ströme des Rundfunksenders Berlin durch ein Galvanometer sichtbar zu machen, gab Veranlassung, die billigen kleinen Telephonspulen zur leichten Herstellung eines Spiegelgalvanometers zu benutzen. Diese Spulen, kleinere Sorte $10 \times 11 \times 19$ mm, sind mit verschiedener Ohmzahl, z. B. 500, 1000, 2000 Ω, in den Geschäften für Radiobedarf oder bei Vogel, Adlershof, zu haben (30 Pfg.); sie passen auf einen Kern von 2×12 mm. Man fertigt sich für 4 Spulen 13 mm lange Turbonit- oder Hartgummistreifen an, die sich mit Reibung bis zur Hälfte in die Spulen einstecken lassen und am freien Ende eine Bohrung von 4 mm Durchmesser haben. Die 4 Spulen lassen sich dann leicht passend montieren; man schneidet von Messingrohr mit 7 mm äußerem Durchmesser und 4 mm weiter Bohrung 4 Stücke von 20 mm und 2 Stücke von 5 mm Länge ab und schiebt nun 2 Messingdrahtstücke von 3,5—4 mm Stärke durch die Rohrstücke und Spulenhalter, so daß die Spulen mit Hilfe von 2 Schrauben festgeklemmt werden (siehe Figur). Die Drahtstücke haben am unteren Ende 2 festgelötete Muttern und sitzen in 2 Bohrungen eines Holztellers in 3,5 cm Abstand voneinander. Das Rohr, welches auch sonst für Radiozwecke gut zu verwenden ist, und der Messingdraht sind z. B. bei Cochius, Berlin, Alexandrinenstr., zu erhalten.



Der Holzteller wurde vorher mit einer Riefe von 4,7 cm Durchmesser versehen, in die ein Gasglühlichtzylinder paßt, der als Gehäuse für das Galvanometer dient (siehe den Aufsatz von Fr. C. G. Müller, *ds. Zeitschr. 1920, S. 214*). Der Zylinder erhält oben einen Teller aus Holz, Turbonit oder Hartgummi, durch welchen ein mit Gewinde versehener Messingdraht von 4 mm Stärke, stellbar durch die Mutter *M*, in das Gehäuse hineinragt. Die Messingschraube trägt an einem Kokonfaden das Magnetsystem mit dem leichten Spiegel *S*. Die Magnete sind 8 mm lange Stücke einer kräftigen Nähnadel; der Halter ist aus 0,25 mm dickem Kupferdraht geflochten; der Spiegel ist einfach mit Klebwachs daran befestigt. Die Pole der beiden Magnetchen sind entgegengesetzt gerichtet; das System erhält seine Richtkraft von einem 10 cm langen Magnetstab, welcher auf den oberen Holzteller gelegt wird.

Das fertige Instrument wird auf einen mit Fußschrauben versehenen Untersatz gestellt. Unser Galvanometer hatte 4×1000 Ω Widerstand, es gab auf einer 2 m entfernten Skala bei $1 \cdot 10^{-7}$ Ampere 1 cm Ausschlag; für manche Zwecke ist es wegen des hohen Widerstandes nicht brauchbar, die mit einem einfachen Detektorapparat anfgenommenen Empfangsströme des Berliner Rundfunksenders aber ließen sich leicht damit nachweisen.

Für die Praxis.

Verwendung von Telephonkurbelinduktoren im Unterricht. Von **Wilhelm Grosch** in Sondershausen. Viele Schulen haben aus Heeresbeständen Telephonkurbelinduktoren erworben; damit lassen sich einige lehrreiche Versuche ausführen, die zu Denkfragen über die Grundgesetze der Elektrodynamik Anlaß geben.

Eine 220 Volt-Glühbirne kann zur Rotglut gebracht werden, während eine Taschenlampenbirne nicht erregt wird, obgleich man an dem zum Drehen notwendigen Kraftaufwand deutlich fühlt, daß Strom fließt. Der Induktor ist eben auf großen äußeren Widerstand gebaut, da er durch eine lange Drahtleitung hindurch den weit entfernten Wecker in Betrieb setzen soll. Die Taschenlampenbirne wirkt also als Kurzschluß und die aufgewandte Energie wird in den Ankerwindungen verzehrt. Läßt man aber den Kurbelinduktor auf den Sekundärkreis eines kleinen Funkeninduktors ($\sim$ 6 mm) arbeiten, so kann man dem Primärkreis einen Strom entnehmen, der die Taschenlampenbirne zum vollen Leuchten bringt. Man hat also ein Modell einer Überlandzentrale mit Erreger und Umformer. Natürlich hinkt der Vergleich an einer Stelle: würde man eine Birne mit zu geringem Widerstand in ein Starkstromnetz einschalten, so würde Birne und zugehörige Sicherung zerstört; die Frage, warum dies in unserem Falle nicht geschieht, zwingt die Schüler, sich in die Vorgänge einzufühlen. Ein großer Funkeninduktor ($\sim$ 15 cm) ist für diesen Versuch wegen des zu großen Widerstandes nicht geeignet (zeigen, fragen).

Auch Umsetzungen in mechanische Arbeit lassen sich zeigen. Ein Telephonwecker mit seinen passenden Spulen aus vielen Windungen spricht auf den Kurbelinduktor direkt natürlich vorzüglich an, eine einfache Hausklingel dagegen nur schwach; transformiert man den Strom wieder mit dem kleinen Funkeninduktor, so spricht die Hausklingel gut, der Telephonwecker aber kaum an. Die Schülerfrage, warum der Wechselstrom des Kurbelinduktors überhaupt auf diese beim Gleichstrom besprochenen Geräte wirkt, gibt willkommenen Anlaß zu echt physikalischen Erörterungen. Es ist darauf hinzuweisen, daß der Induktor in der Sekunde 30—40 Polwechsel erzeugt, während der Klöppel in der Sekunde nur 3—4 mal schwingt, es ist zu sprechen von den Eigenschaften des weichen Eisens und von der Trägheit des Ankers.

Besonders eindrucksvoll wirken die Versuche, wenn man den Umformer in größerer Entfernung vom Erreger aufstellt, und so die Illusion der Überlandzentrale erhöht.

Photometrie des Sonnenlichts. Von **H. Hermann** in Tübingen. In den neuen, selbstzündenden Punktlichtlampen der Osram-Gesellschaft (Wolframbogenlampen, für Gleichstrom in verdünntem Stickstoff, für Wechselstrom in Neon brennend) ist eine Lichtquelle von so kleinen Abmessungen gegeben, daß schon auf wenige Zentimeter Abstand das Keplersche Gesetz (photometrische Grundgesetz; vgl. MACH, Die Prinzipien der physikalischen Optik, 1921, S. 20) anwendbar wird. Dabei ist sie so hell, daß der Lichtstrom des größten Gleichstrommodells unmittelbar an der 10 cm Durchm. besitzenden Glaskugel den vollen Sonnenschein häufig übertrifft, so daß man das Sonnenlicht in der einfachsten Weise unmittelbar photometrieren kann. Man verdunkelt das Zimmer bis auf eine Öffnung von etwa 10 cm Weite und läßt das Lichtbündel auf einen Papierkeil aus Zeichenpapier mit wagrechter Keilkante senkrecht auffallen. Vorteilhaft gibt man dem Keil veränderlichen Winkel oder macht sich mehrere für verschiedene Tageszeiten. Die andere, im Raum senkrechte Keilebene wird mit der in einem Papperohr untergebrachten Punktlichtlampe beleuchtet, wobei man sich mit

der Lampe nähert, bis die Ebenen beiderseits nahe der Kante gleich hell erscheinen. Dies war beispielsweise an einem Juninachmittag um $5^1/_2$ Uhr in 1,14 cm Abstand von der Lampenkugel, also in 6,14 cm Abstand von der Lichtquelle der Fall. Die Flächenhelligkeit der Wolframhalbkugel, welche nach Angabe des Fabrikanten 5,2 mm Durchm. hat, beträgt 15 HK je qmm. Die Lampe wurde wagrecht gebrannt (Gleichstromlampen brennen in jeder Stellung, doch muß die Polung beachtet werden), so daß der Umriß der Halbkugel in Richtung der Strahlung ein Halbkreis war; in dieser Richtung strahlten somit 150 HK. Hieraus ergibt sich die dem Sonnenlicht gleich gefundene Beleuchtungsstärke zu 39000 Lux. (Voller Sonnenschein wird in unseren Breiten zu 60000 Lux, außerhalb der Atmosphäre zu 135000 Lux geschätzt; siehe Scheiner-Graff, Astrophysik, S. 176. Die Helligkeit der Sonne ergibt sich aus letzterer Zahl zu $3 \cdot 10^{27}$ HK; ihre Flächenhelligkeit zu 2000 HK je qmm. Die noch ungedruckte Bestimmung von Frl. Stern in Breslau scheint, nach der vorläufigen Mitteilung von O. Lummer, Ziele und Grenzen der Leuchttechnik, 1918, S. 185, tiefer zu liegen; aus der Temperaturangabe findet man mittels Tabelle 10, deren willkürliche Einheit mittels der Angabe S. 127 zu eichen ist, etwa $\frac{0{,}511 \cdot 2 \cdot 10^{11}}{6{,}754 \cdot 10^{7}} = 1500$ HK je qmm. Der höhere, auf Russell beruhende Wert stimmt jedoch besser mit anderweitigen Berechnungen der effektiven Sonnentemperatur überein.

Die Elektrolyse der Fehlingschen Lösung. Von Prof. **L. Barth** in Gießen. Die Fehlingsche Lösung oder alkalische Kupferoxydlösung, die zum Nachweis der Aldehydgruppe dient, muß bekanntlich als komplexe Verbindung angesprochen werden. Dabei sitzt das Kupfer als Schwermetall im Säurerest. Um meinen Schülern diese Verhältnisse verständlich zu machen, pflege ich die Lösung zu elektrolysieren. Als elektrolytische Zelle dient eine einfache U-Röhre, in deren Schenkel von oben zwei in Glasröhren eingeschmolzene Platinelektroden eingesetzt sind. Die Lösung wird glatt zerlegt, das komplexe Tartrat ist also ein Elektrolyt. An der Anode wird das Kupfer als braunrotes, schwammiges Pulver abgeschieden. Zugleich entsteht ein farbloses Gasgemenge, das sich unschwer als CO bzw. CO_2 nachweisen läßt. Das an der Anode abgeschiedene tiefblaue komplexe Kupfertartration zerfällt demnach in Cu, CO und CO_2. Auch an der Kathode spielen sich mehrere Vorgänge ab. An diese wandert das Kaliumion, wird entladen und zersetzt das Lösungswasser. Der entstehende Wasserstoff wirkt dabei reduzierend auf die Fehlingsche Lösung. Es entsteht gelbes Kupferhydroxydul. Bei größerer Stromstärke wird durch die Stromwärme das Hydroxydul in das Oxydul übergeführt, das als ziegelrotes Pulver sich im Knie der U-Röhre sammelt. Dasselbe ist von solcher Feinheit, daß man leicht — nach Abgießen der überstehenden Lösung — eine kolloide Kupferoxydullösung durch Schütteln mit Wasser erhält. Im reflektierten Licht sieht diese gelb, in der Durchsicht dagegen blau aus. Auch das Tyndallphänomen tritt deutlich auf. Als Schülerübung läßt sich der an Beobachtungen reiche Versuch ebenfalls verwenden. Als Elektroden können Eisenbleche benutzt werden.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Demonstrationsversuche zum Huygensschen Prinzip. Von H. MACHE. (*Physik und Chemie, Fortsetzung der Vierteljahrsberichte des Wiener Vereins zur Förd. des physik. u. chem Unterrichts, 1925, Heft 2.*)

Zu den Versuchen dienen Zelluloidblätter, die man käuflich erhalten, oder aus jedem verdorbenen photographischen Film selbst herstellen kann, indem man die Gelatine in heißem Wasser ablöst. Das Zelluloid muß jedoch rein, nicht beschwert, d. h. nicht barythaltig sein. Legt man ein solches Blatt auf Asbestpapier und entzündet es mit einer kleinen Flamme an irgend einem innerhalb der Fläche gelegenen Punkte, so brennt um diese Stelle ein Kreis aus, der sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit proportional der Zeit wie eine ebene Welle ausbreitet. Die Entzündungsgeschwindigkeit hängt von der Dicke des Zelluloidblattes ab und ist um so kleiner, je dicker das Blatt ist. Entzündet man ein solches Blatt an einer Stelle des Randes, so ist die Geschwindigkeit, mit der die Endzündung längs des Randes weiterläuft, beträchtlich größer als die Geschwindigkeit über die Fläche hin, was in dem leichten Sauerstoffzutritt seine Erklärung findet. Stellt man also ein gerade geschnittenes Zelluloidblatt senkrecht auf und entzündet es an einer Stelle des geraden oberen Randes (*Z* in Fig. 1),

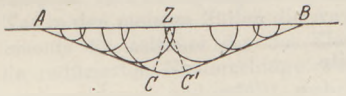


Fig 1.

so wird unter *Z* in einer gewissen Zeit ein Halbkreis ausbrennen. Gleichzeitig breitet sich aber die Entzündung auch längs des Randes aus und schreitet von jedem erreichten Punkt des Randes halbkreisförmig nach innen fort, gelangt also in einer gegebenen Zeit bis zu der alle diese Halbkreise umhüllenden geraden Linie (Brennlinie), die man erhalten kann, wenn man von den äußersten erreichten Randpunkten (*A* und *B*) Tangenten *AC* und *BC'* an den um *Z* beschriebenen Kreis legt, wozu noch das Kreisbogenstück *cc'* kommt. Der Winkel dieser Tangenten mit der Randlinie ist durch das Verhältnis zwischen Flächengeschwindigkeit *v* und Randgeschwindigkeit *V* der Verbrennung bestimmt, es ist:

$$\sin\alpha = \frac{ZC}{ZA} = \frac{v}{V}.$$

Man führt diese und die folgenden Versuche für ein größeres Auditorium am besten vor der Projektionslampe aus, indem man sich einer Kondensorlinse als Objektivs bedient.

Bei einem Zelluloidstreifen (Fig. 2), den man in der Mitte der oberen Kante anzündet, bildet sich nach einiger Zeit eine Spitze (*C*) aus, die, ohne ihre Form zu ändern, über den Streifen herunterbrennt. Ist die Verbrennung bis zu zwei entsprechenden Punkten *A* und *B* der Seitenränder gelangt, so bilden die von diesen Punkten aus gezogenen Umhüllenden die erwähnte Spitze, die

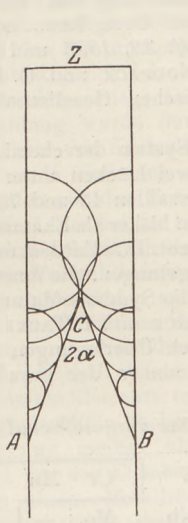


Fig. 2.

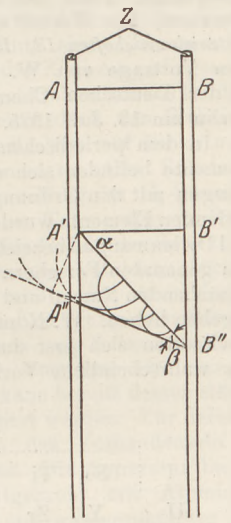


Fig. 4.

im Abwärtsgleiten ihre Form beibehält. Der Winkel bei *C* ist gleich dem doppelten Randwinkel (2α). Nimmt man einen Streifen, dessen Seitenränder nach oben unter einem Winkel β zusammenstoßen, so bildet sich auch eine Spitze; da der Randwinkel auf beiden Seiten α bleibt, so hat, wie man leicht sieht, der Winkel an der Spitze die Größe $\beta + 2\alpha$. Schneidet man die Spitze jetzt so, daß die Ränder unter dem Winkel $\beta = 180° - 2\alpha$ zusammenstoßen, so wird $\beta + 2\alpha = 180°$, d. h. es bildet sich eine gerade Brennlinie (Fig. 3).

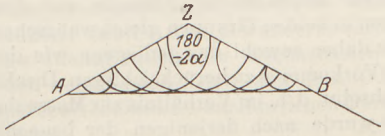


Fig. 3.

Man kann endlich auf Grund desselben Verfahrens auch eine Analogie zur Erklärung der Brechung des Lichtes und des Schalles mittels des Huygensschen Prinzips darstellen. Man nimmt dazu einen 3—4 cm breiten Streifen aus Zelluloid (Fig. 4) und versieht ihn am oberen Ende mit einer Spitze vom Winkel $180° - 2\alpha$. Die Ränder rechts und links werden in Metall gefaßt, indem man geschlitzte Röhrchen darauf klemmt, so daß die Entzündung über die Ränder nicht fortschreiten kann. Zündet man die Spitze *Z* an, so bildet sich zunächst eine horizontale Brennlinie, die sich

selbst parallel den Streifen entlang herunterbrennt, und zwar mit der Flächengeschwindigkeit der Entzündung. Ist nun von der schrägen Trennungslinie $A'B''$ angefangen der untere Teil des Streifens aus dickerem Zelluloid hergestellt, als der obere (beide Teile sind mittels Azeton hochkant zusammengepickt), so ist im unteren Teil die Entzündungsgeschwindigkeit kleiner, so daß die Entzündung gegen die Gerade $A''B''$ hin weiterschreitet. *P.*

2. Forschungen und Ergebnisse.

Die Entdeckung des Masuriums und Rheniums. Nach der Mitteilung von WALTER NODDACK, IDA TACKE und OTTO BERG in den *Naturwissenschaften 13, Heft 26, 1925* und nach dem Vortrage von W. NODDACK und O. BERG in der Deutschen Chemischen Gesellschaft zu Berlin am 13. Juli 1925.

In dem periodischen System der chemischen Elemente befinden sich zwei Lücken unter dem Mangan mit den Ordnungszahlen 43 und 75, die fehlenden Elemente wurden bisher als Ekamangan und Dwinamangan bezeichnet. Ihre Entdeckung ist den genannten Forschern gelungen, die ihnen die vorstehenden Namen und die Symbole Ma und Re gegeben haben. W. NODDACK und I. TACKE vergewisserten sich erst durch Überlegungen über das wahrscheinliche Vorkommen der gesuchten Elemente. Es wurde die Annahme zugrunde gelegt, daß die neuen Elemente nicht in spezifischen neuen Mineralien, sondern vergesellschaftet mit anderen Elementen in bereits bekannten Mineralien vorkommen werden. Für das vergesellschaftete Vorkommen der Metalle vom Scandium bis zum Uran (mit Ausnahme der Alkali- und der Erdalkalimetalle) lassen sich zwei große Zentren angeben: a) das gediegene Vorkommen, dessen Hauptrepräsentant das Platin ist, b) das oxydische Vorkommen, dessen Sammelpunkte die Columbite und Tantalite sind. [Columbit im engeren Sinne, d. h. das Mineral Columbit, ist Eisenniobat, das aber auch Ta und Mn enthält; Tantalit ebenso Eisentantalat, in dem das Eisen zum Teil durch Mn, das Tantal zum Teil durch Niob ersetzt sein kann.] In der nebenstehenden

Das vergesellschaftete Vorkommen der Elemente.

I	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As
II	Y	Zr	Nb	Mo	—	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb
III	La	Hf	Ta	W	—	Os	Jr	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi
		Th		U									

Platinerz

Columbite

Tabelle umfaßt die stärker umzogene Gruppe (a) die der Regel nach mit dem Platin vergesellschafteten Elemente, die rechts und links davon stehenden Elemente bilden zusammen die Gruppe (b), nämlich die in den Columbiten und Tantaliten auftretenden Elemente. Die Metalle Cr, Mn Fe gehören beiden Gruppen an. Für die dem Mn nahestehenden unbekannten Elemente war das Vorkommen in beiden Gruppen gleich wahrscheinlich; es war daher sowohl das gediegene wie das oxydische Vorkommen zu berücksichtigen. Ihre Häufigkeit (absolut, d. h. im Verhältnis zur Masse der Erdrinde) wurde nach derjenigen der benachbarten Elemente zu 10^{-12} bis 10^{-13} geschätzt. Auf ihre Seltenheit weisen auch die ungeraden Ordnungszahlen 43 und 75 hin; im allgemeinen sind die Elemente mit ungerader Ordnungszahl etwa 10 bis 20 mal so selten wie die darauffolgenden mit gerader Ordnungszahl. Den erwähnten Werten entspräche in den Platinerzen ein wahrscheinlicher Gehalt von 10^{-3} bis 10^{-4}, in den Columbiten ein solcher von 10^{-5} bis 10^{-6}. Dies gab einen Anhalt für die bei der Nachforschung erforderliche Anreicherung. In betreff der chemischen Eigenschaften ergab sich aus denen der umliegenden Elemente, daß die Oxyde vom Charakter XO, X_2O_3, XO_2 dunkle, in Säuren unlösliche Stoffe sein müßten, dagegen XO_3 entsprechend dem CrO_3 und dem MoO_3 heller gefärbt und als Anhydrid der Säure H_2XO_4 in Wasser löslich. Am interessantesten müßten die höchsten Oxyde vom Charakter des Mn_2O_7 sein: der Molekularstruktur von X_2O_7 nach sollten die Kristalle dieser höchsten Oxyde der Ekamangane monokline oder trikline Nadeln sein, der Farbe nach für 43 hell (rosa oder gelb), für 75, als Mitte zwischen WO_3 (gelb) und OsO_4 (farblos), hellgelb oder weiß. Die Schwermetallsalze der Säuren H_2XO_4 sollten schwer löslich sein, die Sulfide wie beim Cr in wässeriger Lösung sich nicht bilden.

Die Arbeitsweise gestaltete sich für die beiden Gruppen etwas verschieden. Das russische Platinerz — es standen etwa 80 g zur Verfügung, dazu 50 g Iridiumerz — wurde mit Königswasser aufgeschlossen, die Lösung eingedampft und die erhaltene Salzmasse im H_2-Strom reduziert. Die reduzierte Substanz wurde zusammen mit dem unaufgeschlossenen Rest des Erzes abwechselnd im Wasserstoff- und Sauerstoffstrom in einem Quarzrohr stark geglüht. Dabei destillierte eine große Menge OsO_4 über, vermischt mit RuO_2. An der Rohrwand zeigte sich, in hintereinander liegenden Ringen, ein starker schwarzer Anflug von RuO_2, ein merkliches

weißes Sublimat von As_2O_3 und ein sehr geringer weißer Anflug (Größenordnung mg), der aus mikroskopisch kleinen Nadeln bestand, deren Lösung in Wasser sauer reagierte und sich weder durch H_2S noch durch $(NH_4)_2S$ fällen ließ. Dieser Anflug wurde demnach auf die Ekamangane, besonders das Element 75 gedeutet. Auch beim Glühen von Osmiridium im Sauerstoffstrom war jenes Sublimat zu erkennen, ging aber bei weiteren Fällungsversuchen verloren. Auch das nach anderer Methode behandelte Platinerz Sperrylith ($PtAs_2$) gab erkennbare Mengen vom Element 43, wie sich durch ihr Röntgenspektrogramm feststellen ließ.

Die Arbeitsweise bei den Columbiten bestand darin, daß die Erze in Mengen von ca. 1 kg mit Ätzkali und Salpeter aufgeschlossen und durch Trennung der zahlreichen metallischen Hauptbestandteile eine Anreicherung der gesuchten Elemente erstrebt wurde. Daneben wurden Mengen von etwa 500 g abwechselnd im Wasserstoff- und Sauerstoffstrom bei ca 900° geglüht und die Sublimate weiter analysiert oder für Röntgenuntersuchung zurückgestellt. So wurde $\sim$ 1 kg Columbit mit NaOH und $NaNO_3$ aufgeschlossen, die filtrierte Lösung des Aufschlusses alkalisch und sauer mehrfach mit H_2S behandelt, unter Zusatz von konz. HCl auf etwa 50 ccm eingeengt, neutralisiert und mit Merkuronitrat versetzt. Alle Niederschläge wurden zusammengebracht und reduziert; sie betrugen etwa 1 g, also konnten bei idealer Ausbeute in dem Ausgangsmaterial (1 kg) etwa 1‰ Ekamangane enthalten sein. Das Röntgenspektrogramm zeigte in der Tat in den meisten Fällen die Anwesenheit des Elements 43, seltener die des Elements 75 an. Die reduzierten Niederschläge wurden von neuem aufgeschlossen und gefällt, wobei Nb und Ta weitgehend entfernt wurden, während As, Mo, W, Zn, Sn als Sulfide gefällt wurden. Der Niederschlag enthielt vom Element 43 etwa 0,5%, vom Element 75 etwa 5%; hierin konnten die entsprechenden Linien im Röntgenspektrogramm mit Sicherheit nachgewiesen werden. — Die chemischen Arbeiten wurden teils in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, teils im Physikalisch-Chemischen Institut der Universität Berlin ausgeführt.

Die Röntgenspektroskopie wurde von O. BERG und IDA TACKE im Physikalischen Laboratorium des Wernerwerks M der Siemens & Halske A.-G. ausgeführt. Die den neuen Elementen zukommenden Linien des Röntgenspektrums konnten nach der Moseleyschen Regel (nach der die Quadratwurzel aus der reziproken Wellenlänge einer Linie proportional mit der Ordnungszahl ansteigt) berechnet werden Sobald die Betriebsspannung am Röntgenrohr hinreichend hoch ist, treten alle Linien einer Serie auf einmal auf, und ihre Intensität gestattet sogar eine mindestens schätzungsweise quantitative Analyse. Die Röntgenspektroskopie verfügt zudem über den großen Vorteil, daß das Röntgenspektrum eines Elementes konstant ist, gleichviel, ob das Element gediegen oder gebunden vorliegt. Die charakteristische Röntgenstrahlung wurde durch Auffall von Elektronen in Form von Kathodenstrahlen auf die zu untersuchende Substanz erzeugt. Alle Substanzen wurden vor der Untersuchung im H_2-Strom reduziert, um bei der hohen Temperatur im Brennfleck der Antikathode die Gefahr des Zerstäubens oder Fortsublimierens, die bei den höchsten Oxydationsstufen am größten ist, nach Möglichkeit zu vermeiden. Zur Erzeugung eines Röntgenspektrums ist mindestens 1 mg Substanz erforderlich. Enthält letztere etwa nur 1% eines bestimmten Elements, so kann bereits dessen stärkste Emissionslinie beobachtet werden. Für deren Erzeugung genügt also das Vorhandensein von 0,01 mg des Elementes. Die Apparatur bestand aus einem Metallröntgenrohr mit Aluminiumfenster, Glühkathode und wassergekühlter Antikathode, Braggschem Spektrographen mit Steinsalzdrehkristall. Die Auswertung der Spektrogramme in Wellenlängen geschah relativ zu den Wellenlängen bekannter Linien.

Der Nachweis des Elements 43 gelang durch die Beobachtung der Linie $K\alpha_1$ als schwacher Nachbarlinie neben $K\beta_1$ des Niobs, dazu wurden auch die Linien $K\alpha_2$ und $K\beta_2$ nachgewiesen und ausgemessen; von Element 75 die Linien $L\alpha_1$, $L\alpha_2$, $L\beta_1$, $L\beta_2$. Deren gemessene (bzw. berechnete) Wellenlängen betrugen in Ångström-Einheiten 1,4299 (1,4306), 1,4407 (1,4406), 1,235 (1,2355), 1,2048 (1,2041). In den Spektrogramm-Aufnahmen entsprachen einem Linienabstand von 0,001 Å etwa 0,04 mm, ebensoviel betrug die Breite einer Linie. Die äußerst subtile und bewundernswert scharfsinnige Identifikation der beobachteten Linien mit den berechneten möge man a. a. O. und in der später erscheinenden ausführlichen Darstellung nachlesen. *P. u. O.*

4. Unterricht und Methode.

Erfahrungen aus dem chemischen Arbeitsunterricht. Vortrag auf der 27. Hauptversammlung des Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts zu Hannover. Von L. DOERMER in Hamburg (Orig.-Bericht).

Durch eigene, möglichst selbständige Beschäftigung mit den chemischen Erscheinungen und Vorgängen soll die Urteils- und Leistungsfähigkeit der Schüler soweit entwickelt und gefördert werden, daß sie einfache Aufgaben aus dem Gebiete der Chemie richtig aufzufassen und womöglich selbständig zu lösen in der Lage sind und daß sie auf Grund dieser Fähigkeiten die Bedeutung der Chemie für die Kultur und die Volkswirtschaft verstehen lernen. Diese Kräfte und Fähigkeiten zu erreichen muß das Hauptziel des chemischen Unterrichts sein, denn sie haben auch über die Schulzeit hinaus bleibenden Wert, während der nur gedächtnismäßig angeeignete Stoff meist schon bald der Vergessenheit anheimfällt. Die Erreichung

dieses Zieles hat jedoch die Erarbeitung eines festen Grundstockes von chemischen Kenntnissen zur unumgänglichen Voraussetzung.

Der Vortragende untersucht die früheren und die jetzt noch herrschenden Unterrichtsmethoden daraufhin, wieweit sie die Schüler zum selbständigen Arbeiten erziehen. Wenn man von dem reinen Demonstrationsunterricht absieht, dem bei der Erziehung zum selbständigen Arbeiten geringere Bedeutung zukommt, so hat der Vortragende in seiner Unterrichtspraxis etwa die drei folgenden Hauptstufen durchlaufen:

1. Unterricht und Schülerübungen liefen nebeneinander her und waren innerlich so gut wie nicht miteinander verbunden, ja sie wurden bisweilen von verschiedenen Lehrern geleitet. Da vielfach noch einfache Analysen ausgeführt, Präparate hergestellt oder einfache Untersuchungen vorgenommen wurden, bei denen jeder Schüler eine andere Aufgabe zu lösen hatte — meist, weil es an der nötigen Zahl von Apparaten für das Arbeiten in gleicher Front fehlte —, so brachten die Schüler dieser Art der Übungen, die selbständige Leistungen von dem einzelnen forderten, im allgemeinen großes Interesse entgegen.

2. Klassenunterricht und Schülerübungen waren miteinander verwoben, die Übungen gingen dem Klassenunterricht vorauf oder folgten ihm, je nachdem, ob sie die experimentelle Grundlage für den Klassenunterricht abgeben oder auf eine im Unterricht entstehende Frage die Antwort erteilen sollten; naturgemäß lagen hier Übungen und Unterricht in der Hand desselben Lehrers. Das Bestreben der Fachlehrer ging darauf hinaus, die Schüler in gleicher Front arbeiten zu lassen; es konnte nur dort nicht konsequent durchgeführt werden, wo bei etwas umständlicheren Apparaten, die Zahl der vorhandenen Apparate nicht ausreichte, um alle Schüler den gleichen Versuch ausführen zu lassen. — Wo die chemischen Schülerübungen nicht nur eine sekundäre Rolle spielen, sondern entsprechend den Forderungen der Methodiker des chemischen Unterrichts, wie sie in den neuen DAMNU-Lehrplänen zum Ausdruck kommen, einen wesentlichen Bestandteil des chemischen Unterrichts ausmachen, ist die zuletzt beschriebene Unterrichtsweise wohl die zur Zeit herrschende.

Der Vortragende hat festgestellt, und zahlreiche Fachgenossen bestätigen seine Beobachtungen, daß bei diesen Schülerversuchen in gleicher Front das Interesse der Schüler mit wachsender Reife immer mehr erlahmt. Für diese den Unterricht stark beeinträchtigende Erscheinung kommen folgende Ursachen in Frage: Die schneller, sicherer und geschickter arbeitenden Schüler leisten die erforderliche experimentelle wie geistige Arbeit fast allein; die langsamer arbeitenden, ungeschickteren und weniger intelligenten Schüler sehen die Versuchsanordnung bei ihren Nachbarn entstehen und machen sie vielfach mechanisch nach, ja sie sehen auch meist schon das Ergebnis der Versuche bei den Nachbarn, und die Spannung auf den Ausgang des Versuches fällt für sie weg; viele führen ihren Versuch nur noch interesselos aus oder gar nicht mehr zu Ende, sie sind um den Erfolg ihrer Arbeit betrogen.

3. Die Schüler führen verschiedene zu demselben Problem gehörige Versuche aus, berichten im Klassenunterricht über ihre Versuchsergebnisse und ziehen daraus ihre Schlüsse, die mit den Erkenntnissen der Mitschüler zu einem Gesamtergebnis verarbeitet werden. In diesem Falle hat jeder Schüler einen Teil der gemeinsamen Aufgabe der Klasse zu erledigen. Von der gewissenhaften, richtigen und guten Ausführung seiner Aufgabe hängt die Erreichung des gemeinsamen Zieles ab. Jeder ist daher für seine Teilaufgabe verantwortlich, während den meisten Schülern dieses Verantwortungsgefühl von geringer Bedeutung zu sein scheint, wenn noch 18—20 und noch mehr Mitschüler beim Arbeiten in gleicher Front alle dasselbe Versuchsergebnis feststellen. Bei den Arbeiten in gleicher Front kommen dann auch nur ganz wenige Schüler dazu, über die Versuche zu berichten, und diejenigen, welche den Bericht erstatten, erzählen Dinge, die alle schon kennen. Bei der getrennt-gemeinschaftlichen Arbeitsweise, bei der jeder Schüler eine eigene, der großen Mehrzahl der Mitschüler nicht bekannte Aufgabe zu lösen hat, bleibt die Freude an der Entdeckung und ihrer Mitteilung an die Klasse erhalten, und fast jeder Schüler kommt nach jeder Schülerübung dazu, sich selbständig über seine Aufgabe zu äußern. Beim Arbeiten in gleicher Front müssen aber außerdem die Aufgaben so gewählt werden, daß so gut wie alle Schüler ein brauchbares Ergebnis erzielen können. Das bedeutet für die intelligenteren und experimentell geschickteren Schüler, daß sie fast immer zu leichte Aufgaben erhalten, die ihre Kräfte nicht genügend anspannen und ihre Fähigkeiten nicht hinreichend fördern, während dieselben Aufgaben für die schwachen und ungeschickteren Schüler oft noch zu schwierig sind, so daß auch sie nicht zu ihrem Rechte kommen. Bei der getrennt-gemeinschaftlichen Arbeitsweise hingegen bekommen die langsamer arbeitenden und manuell ungeschickteren Schüler von vornherein einfachere, die schnell und vorsichtig arbeitenden sowie die intelligenteren Schüler schwierigere, ihren Fähigkeiten angepaßte Aufgaben.

Wieweit läßt sich nun diese getrennt-gemeinschaftliche Arbeitsweise, die ohne Zweifel von allen Methoden am meisten geeignet erscheint, die Schüler zur Selbständigkeit im Arbeiten und Denken und zur Gemeinschaftsarbeit zu erziehen, im chemischen Unterricht der höheren Schulen durchführen, ohne das Gesamtziel zu beeinträchtigen, das die Schaffung gewisser grundlegender Vorstellungen und Kenntnisse bei allen Schülern voraussetzt? Zunächst ergibt sich die Beibehaltung der Arbeiten in gleicher Front ganz von selbst

für den ersten Anfangsunterricht, denn die Schüler müssen erst einmal mit dem einfachsten Arbeitsgerät umgehen lernen. Gerade der Anfangsunterricht bietet inbezug auf die Handhabung der Gerätschaften und die Erlernung des richtigen Beobachtens schon soviel neue, die Schüler dieser Altersstufe so lebhaft interessierende Dinge, daß das Interesse durch das Arbeiten in gleicher Front noch nicht gefährdet erscheint. Schon nach 1/4jährigem Unterricht erhalten die Schüler gelegentlich Einzelaufgaben, die ihnen auf Zetteln geschrieben in die Hand gedrückt werden, und die so gefaßt sein müssen, daß zwar dem Schüler die Aufgabe völlig klar ist, daß aber für ihn je nach seinen Fähigkeiten, noch ein gewisser Spielraum zu eigener geistiger Betätigung bleibt. Diese kann darin bestehen, daß der Schüler sich eine einfache Versuchsanordnung selbst ausdenken soll, daß er gewisse nicht näher bezeichnete Erscheinungen beobachten kann, die dem weniger guten Beobachter entgehen, oder daß der Schüler die Haupterscheinungen beobachtet und sie richtig zu deuten sucht. Wo es sich um Schaffung ganz grundlegender Anschauungen und Vorstellungen handelt, ohne die das Fundament für den weiteren Aufbau fehlen würde, — das gilt für die meisten Versuche der Unterstufe —, müssen alle Schüler die grundlegenden Erscheinungen beobachtet und tunlichst durch eigene Versuche festgestellt haben.

Die Versuche mit Chlor z. B., die sich an die Untersuchung der Salzsäure anknüpfen, verlaufen etwa in folgender Weise: 1 Braunstein wird im Röhrchen erhitzt, der frei werdende Sauerstoff wird nachgewiesen. (Demonstration des Lehrers, oder eines Schülers oder Versuch in gleicher Front), 2. Braunstein wird mit Salzsäure erhitzt, das entstehende Chlor wird im Standzylinder aufgefangen: Farbe, spez. Gewicht. (Demonstration des Lehrers). 3 Unter Innehaltung bestimmter Vorsichtsmaßregeln führen alle Schüler Bleichversuche mit Chlor in trockenen Reagensgläsern durch. 4.[1]) Die Schüler führen verschiedene Reaktionen zwischen Chlor und anderen Elementen aus: Der eine mit unechtem Blattgold, der andere mit Stanniol, der dritte mit Eisenpulver, der vierte mit Zinkpulver, der fünfte mit Antimonpulver, der sechste mit metallischem Natrium, der siebente mit echtem Blattgold und Chlorwasser. Falls Aufgaben sich wiederholen müssen, weil mehr Schüler als Versuchsmöglichkeiten da sind, so werden diese an verschiedenen Arbeitstischen ausgeführt, so daß nicht zwei Schüler mit dem gleichen Versuche nebeneinander stehen. 5. Synthese des Chlornatriums (Demonstration des Lehrers). 6. Jeder Schüler prüft eines der folgenden Metalle nach seinem Verhalten der Salzsäure gegenüber: Eisen, Zink, Aluminium, Magnesium, Calcium, Natrium (letzteres nur unter ganz besonderen Versuchsbedingungen). Wasserstoff wird aufgefangen und durch Anzünden erkannt; die Lösung wird eingedampft. 7. Synthese des Chlorwasserstoffs aus Wasserstoff und Chlor und 8. Elektrolyse der Salzsäure durch den Lehrer.

Ohne auf die genaue Analyse aller Vorgänge und die Verknüpfung der durch die Versuche gewonnenen Erkenntnisse zu einer zusammenhängenden Gedankenreihe einzugehen, die Aufgabe der auf die Übungen folgenden Besprechungen ist, sei besonders auf den Unterschied zwischen den Schülerversuchen in gleicher Front und den Einzelversuchen der Schüler hingewiesen. Dabei sind die Demonstrationsversuche der Lehrer den Schülerversuchen in gleicher Front an die Seite zu stellen, denn sie sollen ja diese nur ersetzen, wo der Versuch nicht entbehrt werden kann, für die Schüler aber zu schwierig oder zu gefährlich ist. Der Versuch 3 z. B. zeigt die wichtigste Eigenschaft des Chlors, nämlich seine Bleichwirkung auf organische Farbstoffe. Das soll sich allen Schülern tief einprägen. Bei den Versuchen unter 4 stellt jeder Schüler bei seinem Einzelversuch fest, daß Chlor sich energisch mit einem anderen Element vereinigt, eine Beobachtung, deren Verallgemeinerung auf andere Elemente sich aus den Experimenten ergibt, die er bei den Mitschülern sich abspielen sieht; an welchem Element er die Beobachtung gemacht hat, ist dabei weniger wichtig. Versuch 5 müssen alle Schüler gesehen haben, weil sie wissen müssen, daß Kochsalz aus Chlor und Natrium besteht. Für die Versuche unter 6 gilt mutatis mutandis dasselbe wie für Versuch 4 usw.

Am Ende jeder Übungsstunde liefern die Schüler die mit ihrem Namen versehenen Zettel, auf denen der Lehrer ihnen vor der Stunde die Einzelaufgaben aufgeschrieben hat, wieder ab. Während der Übungsstunde machen sie sich Notizen, die in die nächste Lehrstunde mitzubringen sind. Wer seine Aufzeichnungen schon in der Stunde ordentlich macht und seine Schlußfolgerungen aus den Beobachtungen sauber einträgt, braucht auf der Unterstufe zu Hause nichts mehr auszuarbeiten; wer nicht so konzentriert und ordentlich arbeitet, hat eine kurze Niederschrift als Hausarbeit zu liefern. Das wirkt erziehlich. Im Klassenunterricht werden die Ergebnisse aus den Übungen verarbeitet. Durch die Mitschüler und den Lehrer werden die von den Schülern zu erstattenden Berichte berichtigt und ergänzt, und das Hauptergebnis wird in wenigen Sätzen zusammengefaßt. Der Lehrer hat zu diesem Zwecke die Zettel mit den Einzelaufgaben der Schüler in der richtigen Reihenfolge geordnet und läßt in dieser Reihenfolge berichten. Da meist mehrere Schüler denselben Versuch gemacht haben, kann Falsches leicht berichtigt werden. Aufgabe des Lehrers ist es zudem, während der Übungen, insbesondere bei den Einzelaufgaben, bei den Schülern herumzugehen und darauf zu achten, daß keine wichtige Beobachtung ausfällt.

Auf der Oberstufe geht der Vortragende immer mehr zu der getrennt-gemeinschaftlichen

[1]) Versuchstechnik s. ARENDT-DOERMER, Technik der Experimentalchemie, 5. Aufl., Leopold Voß, Leipzig 1925, S. 309 § 59.

Arbeitsweise über und steigert die Anforderungen an die experimentelle Geschicklichkeit wie auch an die geistige Arbeit. Die Schüler haben ihre Aufgabe nach der experimentellen Erledigung in den Übungen zu Hause zu überarbeiten, wobei ihnen jedes Hilfsmittel erlaubt ist. Sie benutzen das Lehrbuch, jedoch selbständig, insofern, als der Lehrer den Gegenstand vorher nicht mit ihnen besprochen hat; sie ziehen ihre Mitschüler zu Rate, und manche von ihnen lassen sich oft genug Literatur von dem Lehrer geben. Je reifer die Schüler sind, desto mehr scheidet der Lehrer bei der Besprechung in der Klasse aus, desto selbständiger arbeitet die Klassengemeinschaft. Er hat nur dafür zu sorgen, daß der Faden nicht verloren geht, daß die Hauptergebnisse klar herauskommen und daß die Zusammenhänge betont werden; daß er aus seinem reicheren Wissen und Können heraus dauernd anregend und befruchtend wirken muß, braucht jedoch kaum betont zu werden. Bei der Durcharbeitung von Theorien, von philosophischen, technischen, wirtschaftlichen, geschichtlichen Fragen, wird er immer die Hauptrolle spielen, wenn er sich auch hier natürlich, soweit als möglich, auf Vorträge der Schüler, auf gemeinsame Lektüre und Besichtigungen stützen sollte.

Daß nicht jeder Schüler jeden Versuch zu sehen bekommt, der im Klassenunterricht besprochen wird, ist ein gewisser Mangel dieser Unterrichtsweise, der nicht verschwiegen werden soll. Wem aber die Selbständigkeit der Arbeit des einzelnen Schülers höher steht als die Vielseitigkeit und Vollständigkeit des Wissens, wem es mehr auf die Entwicklung von Fähigkeiten als auf die Aneignung von Stoff ankommt, der wird sich für die getrennt-gemeinschaftliche Arbeitsweise entscheiden, wo sie nur irgend durchführbar ist. Das stofflich Notwendige lernt der Schüler auch bei dieser Arbeitsweise, teils aus seinen eigenen Versuchen, teils aus denen seiner Mitschüler und des Lehrers und schließlich in dem Klassenunterricht bei den Besprechungen. Fast jede neue Aufgabe greift außerdem auf früher erarbeitete Vorstellungen zurück und frischt die grundlegenden Kenntnisse immer wieder in einem neuen Zusammenhange auf, vertieft und befestigt sie. Es entsteht auch bei dieser Arbeitsweise ein zusammenhängendes, abgerundetes Wissen, das aber von einem Können getragen wird. Es mag wohl ein Wissen ohne Können geben, ein Können ohne Wissen gibt es in der Chemie nicht. Das Interesse der Schüler erlahmt nicht wie bei den Übungen in gleicher Front, es bleibt bis zur Reifeprüfung erhalten.

Der Lehrer muß bei dieser Arbeitsweise sein Ziel klar vor Augen haben, er muß die Fäden straff in der Hand behalten, denn die Herausarbeitung der Hauptergebnisse dieses Unterrichts wie auch die Vorbereitung der Übungen und die Sicherung der Übersichtlichkeit ist schwieriger als bei den Übungen in gleicher Front.

Bei den quantitativen Versuchen, wo es sich um die Ermittelung bestimmter Zahlengrößen handelt, die die Unterlage für die Ableitung von Gesetzen bilden sollen, bleibt es bei der Arbeit in gleicher Front, jedenfalls soweit, daß jeweils mindestens drei Schüler oder Schülergruppen denselben Versuch ausführen. Bei diesen Versuchen finden die Schüler die Versuchsanordnung auch meist fertig vor, der Aufbau des Apparates spielt hier für den Schüler keine Rolle. Seine Aufgabe besteht vielmehr darin, den Versuch recht sorgfältig und gewissenhaft unter genauester Beachtung aller vom Lehrer gegebenen Arbeitsvorschriften durchzuführen.

Zum Schlusse berichtet der Vortragende noch über seine Erfahrungen mit Sonderkursen in der Chemie und über die Anforderungen, die in der Reifeprüfung an die Kursteilnehmer und an die Normalschüler in der Chemie gestellt werden können, wenn sie an einem Arbeitsunterricht der geschilderten Art teilgenommen haben. Ausführlicher hat der Vortragende den Arbeitsunterricht in der Chemie dargestellt in dem Handbuch des Arbeitsunterrichts für höhere Schulen, herausgegeben von Jungbluth, Verlag Moritz Diesterweg, Heft 10.

5. Technik und mechanische Praxis.

Stabilivolt. Unter diesem Namen hat die Firma Siemens & Halske ein Hochspannungsgerät herausgebracht, das hauptsächlich für Röntgenzwecke bestimmt ist, und zwar für harte, in der Tiefentherapie benutzte Strahlen. Es gelangen hierbei Hochspannungskondensatoren zur Anwendung, die mit Hilfe eines Transformators auf 130—140 Kilovolt einzeln geladen und dann in Reihe entladen werden. Dieses Prinzip, das bei Akkumulatoren für hohe Spannungen gang und gäbe ist, hat, soweit dem Verf. bekannt, zuerst Planté bei Leydener Flaschen angewendet. Aber die technische Verwertung ist erst möglich geworden durch die neuerdings ausgebildete Ventilröhre, die eine Glühelektrode aus Wolframdraht besitzt und nur dann Strom hindurchläßt, wenn dieser Draht Kathode ist.

Fig. 1 zeigt die Schaltung. Es sei T die Sekundärwicklung des Transformators. An den einen seiner Pole sind parallel, aber in entgegengesetztem Sinne die in Öl gebetteten Ventilröhren V_1 und V_2 angeschlossen. Ihre Glühkathoden sind mit den Heiztransformatoren H_1 und H_2 verbunden. Damit ist die Richtung des Stromes, den sie hindurchlassen, gekennzeichnet. K_1 und K_2 sind die beiden Kondensatoren, Zylinder aus Pertinax, und haben, abgesehen von den Rändern, eine aktive Länge von je 150 cm und einen Durchmesser von 38 cm. Sie stellen also ganz respektable Leydener Flaschen dar; eine jede hat eine Kapazität von etwa 8000 ccm. Ihre äußeren Belegungen sind durch ein Metallstück O verbunden, das ebenso, wie die anderen Hochspannungsleitungen, zur Vermeidung von Strah-

lungsverlusten dick ist, aber hohl sein darf. An dieses Zwischenstück ist der andere Transformatorpol angeschlossen. *R R* sind Röntgenröhren

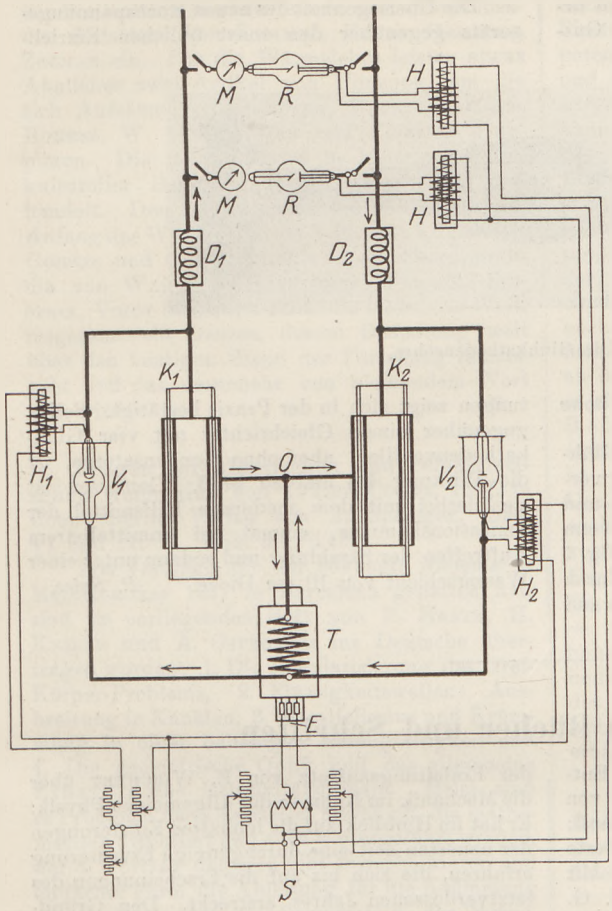


Fig. 1. Prinzipschaltung des Stabilivolt.

und zwar ebenfalls Glühkathodenröhren, z. B. nach Coolidge-Siemens. *M M* sind Milliamperemeter.

Die Wirkungsweise der Apparatur ist folgende. Ist der in der Zeichnung oben befindliche Transformatorpol geerdet, dann hat in einem bestimmten Augenblick der untere Pol das volle Potential, nehmen wir an 125 Kilovolt. Auf dieses kann sich dann die innere Belegung des Kondensators K_1 aufladen, falls über R noch kein Strom entnommen wird. Der Strom fließt in dieser Halbperiode in der Richtung des über dem Transformator links stehenden Pfeils. Ebenso ladet sich während der zweiten Halbperiode (Pfeil rechts) die äußere Belegung des Kondensators K_2 auf. Ohne irgendwelche Mechanismen sind nun K_1 und K_2 hintereinander geschaltet und vermögen an die Röhren Strom abzugeben unter einer Spannung, die, wenn wir von Verlusten absehen, 250 Kilovolt beträgt.

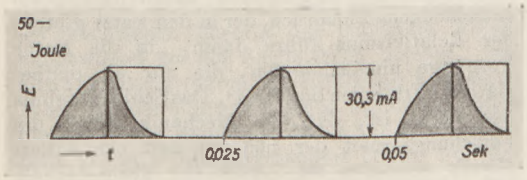


Fig. 2.

Es fragt sich nun, wie sich die Verhältnisse bei Stromentnahme gestalten. Da ist zunächst der bemerkenswerte Unterschied gegenüber dem Induktor hervorzuheben, daß hier eine Aufspeicherung von Energie in elektrostatischer Form stattfindet, bei dem Induktor dagegen in elektromagnetischer. Diese Energie gibt der Induktor nach jeder Unterbrechung des Stroms vollständig aus, während die Kondensatoren dies nur zum Teil tun; sie wirken also wie der Windkessel einer Feuerspritze. Die beiden Figuren 2 und 3 lassen diese Verhältnisse erkennen. Die Spannung sinkt bei dem Stabilivolt in der Entladungszeit, die weniger als 0,01 sec beträgt, bei einer Stromentnahme von 10 Milliampere nur um etwa 20000 Volt, also weniger als 10% ihres Wertes. Eine solche Beanspruchung ist aber bei der Tiefenbestrahlung nicht üblich; gewöhnlich arbeitete man bisher mit 2 bis $3 \cdot 10^{-3}$ Ampere; neuerdings mit 5 bis $6 \cdot 10^{-3}$ Ampere; der Abfall wird dadurch entsprechend geringer. Die in Fig. 3 dargestellten Einschnitte in der den Energieverlauf darstellenden Kurve sind, obwohl sie nicht sehr groß sind, noch zu groß gezeichnet. Wir haben es also tatsächlich fast mit einem Reservoir zu tun, das durch die Entnahme von Energie nur wenig einbüßt.

Dies ist nun wiederum sehr wichtig wegen der dadurch bewirkten Homogenität der erzielten

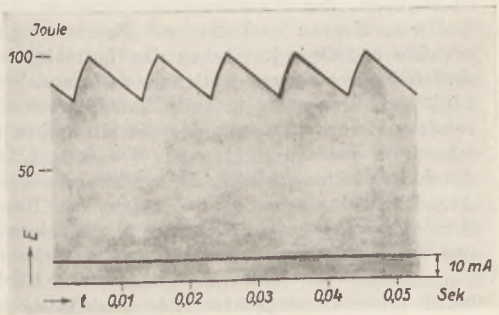


Fig. 3.

Strahlen. Die niedrigeren Teile der Energiekurve ergeben weichere Strahlen, die für die Zwecke der Tiefentherapie unbrauchbar sind und

durch Metallfilter beseitigt werden müssen. Von vornherein mit einer fast gleichmäßig hohen Spannung zu arbeiten, ist aus diesem Grunde viel vorteilhafter. Voraussetzung ist allerdings eine Röntgenröhre, die mit Sättigungsstrom arbeitet, also eine Glühkathode besitzt. Gaswieder herab, besorgt also in ausgezeichneter Weise die Kühlung. Vor allem verhindert es den Übergang von Gleitfunken auf der Außenfläche des Glases.

Die Überlegenheit des neuen Hochspannungsgeräts gegenüber den sonst üblichen Einrich-

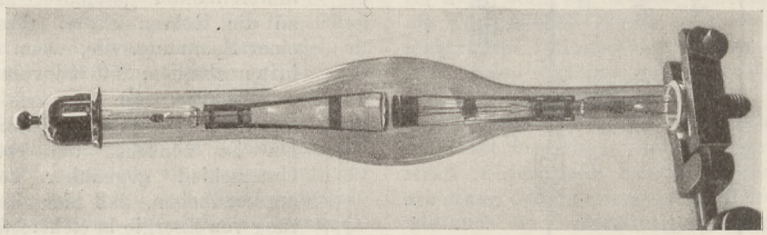


Fig. 4. Die Glühkathodenröhre.

haltige Röhren schlagen um, wenn ihnen hohe Gleichspannung zugeführt wird.

Recht bemerkenswert ist es, daß die Glühkathodenventile eine so hohe Beanspruchung vertragen. Sie tun dies in einwandfreier Weise und zeigen dabei sogar eine große Lebensdauer, wenn man sie in Ölbehälter setzt; diese sind in Fig. 1 bei V_1 und V_2 angedeutet. Das Öl strömt, durch die Röhre erhitzt, empor und an der Gefäßwand

tungen zeigt sich in der Praxis bestätigt. Selbst gegenüber einem Gleichrichter mit vier Glühkathodenventilen, aber ohne Kondensatoren, ist die Wirkung 1,8 mal so groß. Gemessen ist sie hierbei mit dem modernen Hilfsmittel der Ionisationskammer, einmal bei unmittelbarem Auftreffen der Strahlung und sodann unter einer Wasserschicht von 10 cm Dicke. *P. Spies.*

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Die Kultur der Gegenwart, ihre Entwicklung und ihre Ziele. Herausgegeben von Paul Hinneberg. III. Teil, 3. Abteilung, 1. Band: Physik. Zweite, neubearbeitete und erweiterte Auflage, unter Redaktion von E. Lecher. 849 S. Mit 116 Abbildungen. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner. 1925. G.-M. 34.—, geb. G.-M. 36.—.

Von den Mitarbeitern des Werkes ist seit der ersten Auflage (vgl. *d. Zeitschr. 28, 108; 1915*) eine Anzahl verstorben. Die Beiträge von Richarz (Entwickelung der Elektrizitätslehre bis zum Siege der Faradayschen Anschauungen) und von Elster und Geitel (Entdeckungsgeschichte und Grundtatsachen der Radioaktivität) sind fast unverändert geblieben, andere mehr im Fluß befindliche Gegenstände haben mehr oder weniger Umarbeitungen oder Erweiterungen erfahren, so der von H. Rubens (Wärmestrahlung) durch G. Hettner, von E. Dorn (Experimentelle Atomistik) durch K. Przibram, von F. Braun (Drahtlose Telegraphie) durch M. Dieckmann, von F. Hasenöhrl (Erhaltung der Energie und Vermehrung der Entropie) durch H. Mache. Auch die neueren Fortschritte der Optik von Lummer haben durch M. v. Rohr bemerkenswerte Zusätze über das Sehen durch eine astigmatische Brille erhalten. Ein neu eingefügter Artikel von H. A. Kramers behandelt Quantentheorie, Atombau und Spektrallinien im Sinne der Bohrschen Theorie. Einer der hervorragendsten Artikel ist der Einleitungsaufsatz von E. Wiechert über die Mechanik im Rahmen der allgemeinen Physik. Er hat im Hinblick auf die lebhaften Erörterungen der neuesten Zeit eine durchgängige Erweiterung erfahren, die sich bis auf die Erscheinungen des letztverflossenen Jahres erstreckt. Den Grundstock des Ganzen bildet eine meisterliche Darstellung der Geschichte der Mechanik unter dem Gesichtspunkte der heute im Vordergrunde stehenden Gegensätze, im besonderen des Gegensatzes von Relativitätslehre und Äthertheorie. Bei aller Anerkennung der Vorzüge der ersteren erhebt der Verf. doch gegen gewisse Überschreitungen namentlich der allgemeinen Relativitätstheorie entschiedenen Einspruch, der in dem Satze gipfelt, der Relativismus führe dahin, „in die Natur Vorgänge hineinzudeuten, die nur als mathematische Fiktionen bestehen". Das Schlußergebnis des Verfs. ist, daß die Mechanik durch die Forschungsarbeit der neueren Zeit zur Ätherphysik geworden sei. Auch der übrige Inhalt des Buches ist teils nach dem Gesichtspunkt historischer Zusammenfassung, teils nach dem einer Übersicht des gegenwärtigen Standpunkts der Forschung eingestellt, beide Richtungen ergänzen einander aufs wirksamste. So bilden der schon erwähnte Artikel von Richarz, der von Lecher (die Entdeckungen von Maxwell und Hertz) und der von H. A. Lorenz (Maxwellsche Theorie und Elektronentheorie) die Grundlage für

die auf Spezialgebiete bezüglichen Aufsätze von Gumlich, Braun, M. Wien, Starke, Kaufmann, Gehrcke und Reichenheim; dieselbe Stellung nimmt der Artikel von O. Wiener (Entwicklung der Wellenlehre des Lichtes) zu den anschließenden Aufsätzen von Lummer, Exner, Gehrcke, Zeeman ein. Für die Wärmelehre leisten etwas Ähnliches zwei Artikel von Holborn, um die sich Aufsätze von Warburg, Henning, Jäger, Rubens, W. Wien, Dorn und Einstein gruppieren. Die Akustik wird in historischer und kultureller Beziehung von F. Auerbach behandelt. Den Darlegungen von Wiechert am Anfang des Werkes sind am Schlusse „Allgemeine Gesetze und Gesichtspunkte" gegenübergestellt, die von Warburg, Hasenöhrl, Planck, Einstein, Voigt behandelt sind. So bildet das Werk insgesamt ein Ganzes, dessen Bedeutung weit über den heutigen Stand der Forschung hinausgeht und das umsomehr von bleibendem Wert sein wird. *P.*

Fragen der klassischen und relativistischen Mechanik. Von T. Levi-Civita, Prof. in Rom. Berlin, Verlag von J. Springer, 1924. VI und 110 S. Geb. Mk. 5.40.

Vier Vorträge, die der bekannte italienische Mathematiker 1921 in Barcelona gehalten hat, sind im vorliegenden Heft von P. Hertz, H. Kneser und A. Ostrokski ins Deutsche übertragen worden: 1. Die Regularisierung des Drei-Körper-Problems, 2. Flüssigkeitswellen: Ausbreitung in Kanälen, 3. Parallelismus und Krümmung in einer beliebigen Mannigfaltigkeit und 4. Die geometrische Optik und das allgemeine Einsteinsche Relativitätsprinzip. Meist sind es Probleme der klassischen Mechanik, die mathematisch diskutiert und auch weitergeführt werden, der 4. Vortrag dagegen gibt in recht klarer und einfacher Form die Ableitung für die Krümmung der Lichtstrahlen im Schwerefeld der Sonne. Der Verfasser zeigt zunächst, daß das optische Problem einem dynamischen völlig äquivalent ist, da das Fermatsche Prinzip für alle Brechungen eine Form annimmt, die der des Prinzips der kleinsten Wirkung völlig analog ist. Benutzt man außer der Newtonschen Mechanik nur noch den Satz von der Trägheit (und Schwere) der Energie, so kann man leicht finden, daß nach der klassischen Theorie der maximale Ablenkungswinkel bei der Sonne 0,″88 beträgt. Der Einsteinsche (durch die Erfahrung bestätigte) Wert von der doppelten Größe ergibt sich sofort durch dieselbe Ableitung, da bis auf den Faktor 2 beim Potential alles unverändert bleibt. Für den letzteren Satz muß der Verf. allerdings auf eine seiner früheren Arbeiten verweisen. *S.*

Über ein neues Anziehungsgesetz und die relative Definition der Trägheit. Von Hans Osten. Verlag von E. H. Mayer, Leipzig, 1925. 62. S. Geh. Mk. 2.—.

Eine Reihe von Aufsätzen des Verf. in den Astron. Nachr. *(Bd. 219, 220, 222)* ist hier zusammengefaßt und gibt das Bild einer Theorie der Gravitation, die wie die Einsteinsche die Lichtstrahlenablenkung in Schwerefeldern und die Anomalie der Perihelbewegung des Merkur erklärt und die Trägheit auf die Wirkung der Fixsterne zurückführt. Das benutzte Gravitationspotential kann als eine Kombination von Webers und Riemanns elektrodynamischen Potentialen aufgefaßt werden. Unter seiner Voraussetzung kann die Euklidische Geometrie auch für die Gravitationstheorie beibehalten werden. Und hier liegt der erkenntnistheoretische Grund, warum Osten seine Überlegungen angestellt hat. Ihm sind Raum und Zeit nicht Dinge, sondern Formen der Anschauung, ihm ist der Raum die Möglichkeit, Dinge nebeneinander, die Zeit die Möglichkeit, Dinge nacheinander anzuordnen. Beide können daher nicht als gekrümmt angesehen werden. Er will an der Euklidischen Geometrie festhalten, wenn er sich auch bewußt ist, daß auf dem Wege der R.-Th. für das System der Physik der allgemeinere, umfassendere Gesichtspunkt zu erreichen ist — aber auf Kosten der Anschaulichkeit —. Das ist ein alter Gegensatz, der in der Entwicklung der R.-Th. immer wieder zum Vorschein kommt; mit guten Gründen stehen sich die Gegner gegenüber. Man kann wählen, ob man die einfachere Geometrie oder die geschlossenere — und in diesem Sinne einfachere — Physik haben will, denn „Maßgesetze und Naturgesetze bedingen sich gegenseitig" (S. 9). Ein Mangel des von Osten vorgeschlagenen Weges liegt wohl darin, daß er die Rotverschiebung nicht erhält. *S.*

Der physikalische Gehalt der speziellen Relativitätstheorie. Von Dr. D. Gawronsky, Privatdozent a. d. Univ. Bern. J. Engelhorns Nachf., Stuttgart, 1925. 64 S.

Der Streit um den Sinn der Relativitätstheorie will nicht aufhören. Durch Einstein selbst und seine positivistisch eingestellten Anhänger ist mit den Ergebnissen dieser Theorie eine Auffassung der Realität verbunden worden, die viele abgestoßen hat. Da heißt es, daß der Stab im bewegten System kürzer „ist" als im ruhenden, daß die bewegte Uhr einen verlangsamten Gang hat usw. Demgegenüber ist immer wieder darauf hingewiesen worden, daß doch die Lorentz-Transformation die Gleichheit der genannten Größen im Ruhezustand voraussetzt, daß nur durch das anders geartete Messungsverfahren, nach dem Größen des bewegten Systems vom ruhenden aus gemessen werden, jene Abweichungen erklärt werden können. Nach dieser Auffassung ist es natürlich unnötig, etwa nach einem „physikalischen Grund" für die Größenveränderung zu fragen. Diesen Standpunkt führt G. in recht klarer und einfacher Weise durch. „Für uns handelt es sich um eine Zeitmessung mit Hilfe von Uhren, deren Gang vollkommen unveränderlich ist, und um eine Messung von Entfernungen und Stäben, deren physikalische Größe vollkommen konstant bleibt"

(S. 26). „Ein veränderter Gesichtspunkt der Messung umfaßt allerdings ganz einheitlich und ganz gleichmäßig alles, was dieser Messung unterliegt, und nur um eine solche Messung ... handelt es sich auch bei unserm Problem“ (S. 26/27). — Diese allgemeine Auffassung ist nicht so neu, wie der Verf. zu meinen scheint, wenn sie auch wichtig genug ist, immer wieder betont zu werden; neu aber ist seine Besprechung des Uhrenparadoxons und der rotierenden Scheibe. Die Lösung beider Probleme ist darin zu suchen, daß bei beiden nur eine Uhr zur Messung dient, und daß dadurch von einer Äquivalenz der benutzten Systeme keine Rede mehr sein kann. Es treffen daher die Folgerungen, die über das Altern der Organismen gezogen sind, nicht zu, auch ist es nicht notwendig, für die Rotation der Kreisscheibe auf die nichteuklidische Geometrie zurückzugreifen. — Das Heft wird die Diskussion über den Sinn der Relativitätstheorie sicherlich fördern. *S.*

Drahtlose Telegraphie und Telephonie in ihren physikalischen Grundlagen. Von W. Ilberg (Math. Physikal. Bibliothek Bd. 62). 41 S. Mit 25 Figuren. Leipzig, B. G. Teubner. 1921. Kart. M. 1.—.

Das Schriftchen läßt hauptsächlich die prinzipielle Seite des Gegenstandes hervortreten, wie es sich etwa für einen einleitenden Unterrichtskursus empfiehlt, auf technische Ausführungsformen ist weniger eingegangen, doch ist der Empfang mit Elektronenröhren auch für drahtlose Telephonie gut verständlich dargestellt. *P.*

Vereine und Versammlungen.

Berliner Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts.

(Ortsgruppe des deutschen Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts.)

Bericht über das Jahr 1924.

Der Vorstand hatte folgende Zusammensetzung: 1. Vorsitzender: Herr Matthée; 2. Vorsitzender: Herr Henkel; Schriftführer; Herr Petzold; Kassenwart: Herr Tetzlaff.

15. Januar. Herr Norden: „Licht und Schatten.“ (Die Ostwaldsche Farbenleiter der unbunten Farben ist ein gutes Hilfsmittel zur Messung der Schattentiefe. Der Vortragende zeigte den Gebrauch eines Beleuchtungsmessers nach einer Konstruktion des Herrn Bechstein in Firma Schmidt & Haensch).

12. Februar. Herr Volkmann: „Die geometrische Theorie des Präzisionsstativs. Ein selbst herstellbares Stativ und seine Verwendung zu einfachen Schulversuchen.“ (Herr Volkmann demonstrierte das nach seinen Angaben konstruierte Stativmaterial. Es bürgt für unbedingt sichere Lagerung — auch bei Abnutzung — und gestattet überraschend vielseitige Bewegungen.)

11. März. Gemeinsame Sitzung der drei Förderungsvereine. Herr Apt: „Organisation industrieller Betriebe.“ (Erläuterung des Taylor-Systems. Vorführung eines Films der A.E.G., der die Anwendung rationeller Arbeitsmethoden bei der Herstellung von Kabelschuhen zeigt.)

1. April. Aussprache über die Behandlung der Elektrizitätslehre im Schulunterricht im Anschluß an die Vorschläge von Herrn Orlich (*d. Ztschr. 36, 73*) und die Äußerungen von Herrn Rosenberg (*d. Ztschr. 36, 145*). 1. Referent: Herr Th. Meyer. (Versuche historischen Charakters sollen möglichst verschwinden. Die Begriffe „Vektor“ und „Kraftfeld“ sind früh einzuführen. Die Reibungselektrizität muß ganz und gar zurücktreten.) 2. Referent: Herr Girke. Der Schulunterricht muß organisch aufbauen und folgt zweckmäßig der historischen Entwickelung, ohne natürlich die Irrwege mitzumachen. Der Unterricht knüpft auch heute noch am besten an die Erscheinungen des permanenten Magnetismus und der ruhenden Elektrizität an und führt allmählich in die modernen Vorstellungsweisen ein.) An der Diskussion beteiligten sich die Herren Orlich, Martens, v. Hanffstengel und Lamla.

13. Mai. Herr v. Hanffstengel: „Der technische Gedanke in unserer Zeit.“ (Den Ingenieur treibt nicht in erster Linie der praktische Zweck, sondern das Gefühl des Schöpfertums. Höchstes Verantwortungsgefühl und wirtschaftliches Denken muß er in sich vereinigen. Die Menschheit muß nach einer Rationalisierung rein mechanischer Arbeiten streben, um für edlere Arbeiten frei zu werden. Bedeutung der Normung.) Herr v. Hanffstengel zeigt ein Universalmodell (Pantechno) für den Unterricht in der Mechanik.

24. Juni. Herr Roebling: „Die Denkform der Ursache; Grundart und Abarten.“ (Im Anschluß an Kant erläutert der Vortragende die Möglichkeit einer Erfahrung. Ein Ding im Raum, nicht ein Geschehnis wird als Ursache gefordert.)

19. August. Herr Lamla: „Über Röntgenspektroskopie.“ (Die verschiedenen Röhrentypen und Meßmethoden. Kennzeichnung des heutigen Standes der Messung elektromagnetischer Wellen.) Besichtigung der naturwissenschaftlichen Unterrichtsräume der Königstadtischen Oberrealschule, besonders der Projektionseinrichtungen.

16. September. Herr Berndt: „Das Messen in der Technik.“ (Die Entwicklung der Meßmittel. Die Bedeutung der Endmaßstäbe, Kaliberlehren und Grenzlehren. Verfeinerung der Messungen durch Interferenzmethoden. Demonstration der Werkzeuge und Methoden im Lichtbild.)

14. Oktober. Herr Ohmann: „Aus verschiedenen Gebieten der Schulphysik.“ (1. Oberflächenwachstum durch Stoffzerkleinerung. Hinweis auf die Kolloidchemie. 2. Der Begriff „Gas“ bei Joh. Bapt. van Helmont. 3. Demonstration von Bildern über optische Täuschungen. 4. Vorführung eines Modells, das die Größenverhältnisse der Erde und des Mondes und ihrer Entfernung relativ zum Sonnendurchmesser erläutert.)

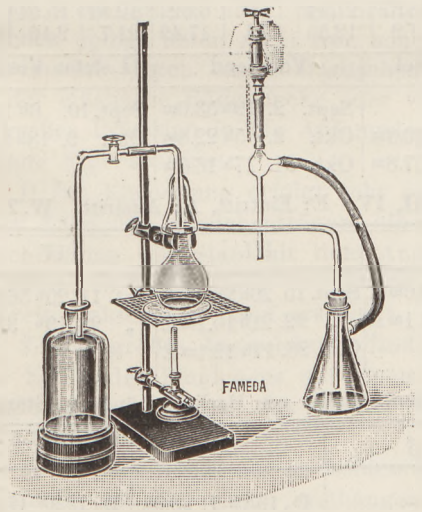
11. November. Herr Volkmann: „Grundsätzliches über Projektion kleiner und kleinster Gegenstände.“ (Beim Übergang von schwachen zu starken Objektiven nimmt die ausnutzbare Größe der Lichtquelle stark ab. Beobachtet man aus 4—5 m Entfernung, so leistet die Projektion nicht mehr als subjektive Beobachtung mit dem 3. Teil der Apertur. Zur Erläuterung der Verwendbarkeit der Lupenprojektion benützt der Vortragende zwei einfache Konvexlinsen, die nach Art eines Ramsden-Okulars zusammengestellt sind.) — Herr Herberg: „Mikroprojektion mit einfachsten Hilfsmitteln im biologischen Unterricht.“ (Projektion mikroskopischer Präparate verschiedener Dicke mit Ramsden-Okularen von 20, 10 und 5 mm Brennweite. Die Vorteile sind: großes Gesichtsfeld und große Tiefenschärfe. Die Projektion mit polarisiertem Licht gibt Aufschluß über die Struktur.)

4. Dezember. Herr Kähler: „Über den Ursprung der Gewitterelektrizität.“ (Die meisten Theorien über den Gegenstand widersprechen in einzelnen Folgerungen der Erfahrung. Am fruchtbarsten hat sich die zuerst von Elster und Geitel aufgestellte Theorie der Elektrisierung durch Influenzvorgänge gezeigt, vgl. *d. Ztschr. 38, 52.*)

Aus Werkstätten.

Neuer Quecksilberdestillationsapparat nach Joh. Wetzel (†) von der „Fameda“, Fabrik medizinischer und chemischer Apparate A.-G. in Berlin-Tempelhof, Ringbahnstraße 20/21.

Die Apparatur dient nicht nur zur Destillation von kleinen Mengen Quecksilber, sondern sie kann auch in kontinuierlicher Arbeitsweise größere Mengen Quecksilber destillieren.



Der neue Apparat besteht aus einem Destillationskolben *E* von etwa 80 mm Durchmesser, dessen Hals durch eine kropfartige Ausbuchtung zu einem etwa 85 mm hohen Luftkühler *A* und einer etwa 6 mm tiefen Sammelrinne *D* geformt ist, welch letztere, ähnlich einer Dachrinne, beim Destillieren des Quecksilbers die im Luftkühler *A* kondensierten Quecksilberdämpfe sammelt und nicht mehr in den unteren Kolben *E* zurückfließen läßt. Durch das Abflußrohr *F* ist die Sammelrinne mit einer Vorlage *K* verbunden. Das Rohr *F* wird zweckmäßig mit einer kurzen Asbestisolierung *H* versehen, die die Wirkung eines Kühlers ausübt und somit den letzten Rest der Quecksilberdämpfe kondensiert. Durch den Luftkühler *A* führt das Zuleitungsrohr *B*, das mit dem Absperrhahn *C* versehen ist.

Die Quecksilberdestillation erfolgt im Vakuum. Der Absperrhahn *C* wird geschlossen, während die Vorlage *K* mit der Wasserstrahlluftpumpe verbunden wird. Am besten verwendet man die Wetzel-Normal-Wasserstrahlluftpumpe D.R.G.M. 801794, mit der man bei einem Wasserdruck von 2,8 Atm. bei mittlerer Temperatur in etwa 40 Sekunden ein Vakuum von 12 mm erzielt und die ebenfalls von der „Fameda“ hergestellt wird.

Der Apparat wird von außen durch Asbest isoliert bis auf den Teil des Luftkühlers *A*, welch letzterer noch bei einer Außentemperatur von 25° C wirksam ist.

Das Zuleitungsrohr *B* steht in Verbindung mit dem Vorratsgefäß, in welchem sich das zur Destillation bestimmte Quecksilber befindet. Infolge des im Apparat herrschenden Vakuums wird beim Öffnen des Absperrhahnes *C* das Quecksilber durch das Zuleitungsrohr *B* in den Kolben *E* gelangen. Dieser wird dreiviertel gefüllt, der Absperrhahn *C* geschlossen und der Kolben mit einem gewöhnlichen Bunsenbrenner über einem Drahtnetz oder im Sandbad erhitzt. Zum Füllen bei einem kontinuierlichen Betrieb braucht nur der Absperrhahn *C* geöffnet zu werden, wobei zu beachten ist, daß der Kolben *E* nicht zu voll wird.

Die Leistungsfähigkeit des Apparates beträgt bei einem Durchmesser von etwa 80 mm in 8 Stunden durchschnittlich 6 Kilogramm. Der Preis der kompletten Apparatur beträgt M. 45.—

Himmelserscheinungen im September und Oktober 1925.

W. Z.: Welt-Zeit = Bürgerlich. Zeit Greenwich. 0^h W. Z. = Mitternacht bürgerl. Zeit Greenwich. Stundenzählung von 0^h bis 24^h. St. Z. = Bürgerl. Zeit Stargard = W. Z. + 1^h.

W. Z. 0^h		September 3	8	13	18	23	28	Oktober 3	8	13	18	23	28	Nov. 2
♀	AR	$9^h 52^m$	9.58	10.17	10.45	11.18	11.51	12.24	12.56	13.27	13.57	14.27	14.57	15.27
	D	$+10{,}9^0$	$+12{,}0$	$+11{,}5$	$+9{,}6$	$+6{,}6$	$+2{,}9$	$-0{,}9$	$-4{,}8$	$-8{,}5$	$-12{,}0$	$-15{,}1$	$-18{,}0$	$-20{,}5$
♀	AR	$12^h 53^m$	13.15	13.37	14.00	14.22	14.45	15.9	15.32	15.56	16.21	16.46	17.11	17.35
	D	$-5{,}4^0$	$-7{,}9$	$-10{,}4$	$-12{,}7$	$-15{,}0$	$-17{,}1$	$-19{,}1$	$-20{,}9$	$-22{,}4$	$-23{,}8$	$-24{,}8$	$-25{,}6$	$-26{,}2$
☉	AR	$10^h 46^m$	11.14	11.22	11.40	11.58	12.16	12.34	12.52	13.11	13.29	13.48	14.7	14.27
	D	$+7{,}8^0$	$+6{,}0$	$+4{,}1$	$+2{,}2$	$+0{,}2$	$-1{,}7$	$-3{,}7$	$-5{,}6$	$-7{,}5$	$-9{,}3$	$-11{,}1$	$-12{,}9$	$-14{,}5$
♂	AR	$11^h 1^m$	11.12	11.24	11.36	11.48	12.00	12.11	12.23	12.35	12.47	12.59	13.11	13.24
	D	$+7{,}5^0$	$+6{,}2$	$+4{,}9$	$+3{,}6$	$+2{,}3$	$+1{,}0$	$-0{,}3$	$-1{,}6$	$-2{,}9$	$-4{,}2$	$-5{,}5$	$-6{,}8$	$-8{,}0$
♃	AR	$18^h 56^m$		18.55		18.57		18.59		19.3		19.8		19.14
	D	$-23{,}2^0$		$-23{,}2$		$-23{,}2$		$-23{,}1$		$-23{,}0$		$-22{,}9$		$-22{,}7$
♄	AR	$14^h 33^m$				14.39				14.48				14.57
	D	$-12{,}7^0$				$-13{,}2$				$-14{,}0$				$-14{,}7$

Δ = **Sternzeit für 0^h Welt-Zeit**; für östl. bzw. westl. Länge λ^0 v. Greenwich: $\mp\ \lambda \cdot 0.657^s$.

Zeitgl. = Mittl. Z. − Wahre Z.

		22h 46m 26s	23. 6.9	23. 25.52	23. 45.35	0. 5.17	0. 25.00	0. 44.43	1. 4.26	1. 24.8	1. 43.51	2. 3.34	2. 23.17	2. 42.59
Zeitgl.		$-0^m 26^s$	-2.6	-3.50	-5.35	-7.21	-9.4	-10.42	-12.12	-13.32	-14.38	-15.30	-16.5	-16.22

Breite von Berlin (52,2°). Länge v. Stargard. Aufgang u. Untergang d. ob. ☉-Randes. St. Z.

☉	Aufg.	$5^h 14^m$	5.21	5.30	5.38	5.47	5.55	6.3	6.12	6.21	6.30	6.39	6.48	6.58
	Unterg.	$18^h 44^m$	18.33	18.21	18.9	17.57	17.45	17.34	17.23	17.11	17.0	16.49	16.39	16.28

Breite von Berlin (52,5°). Länge v. Stargard. Aufgang u. Untergang d. ob. ☾-Randes. St. Z.

☾	Aufg.	$19^h 28^m$	21.28	0.13	5.32	11.34	16.26	18.37	21.14	1.2	6.52	12.52	15.54	17.56
	Unterg	$5^h 35^m$	11.58	16.31	18.43	20.44	0.29	7.9	12.55	16.4	17.49	21.7	2.10	8.30

Mondphasen W. Z.	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
			Sept. 2. $19^h 53.0^m$	Sept. 10. $0^h 11.6^m$
	Sept. 18. $4^h 12.4^m$	Sept. 25. $11^h 50.8^m$	Okt. 2. $5^h 22.8^m$	Okt. 9. $18^h 34.0^m$
	Okt. 17. $18^h 5.7^m$	Okt. 24. $18^h 37.8^m$	Okt. 31. $17^h 16.6^m$	

Verfinsterungen der Jupitertrabanten I, II, III, IV. E: Eintritt, A: Austritt. W. Z.

I	II	III	IV
Sept. 10. $19^h 39.2^m$ A	Sept. 17. $19^h 33.0^m$ A	Sept. 15. $20^h 38.9^m$ A	Okt. 11. $20^h 56.8^m$ E
„ 17. $21^h 34.2^m$ A	Okt. 19. $19^h 27.1^m$ A	„ 22. $21^h 10.1^m$ E	„ 28. 19^h 3.6m A
„ 26. $17^h 58.0^m$ A		Okt. 28. $17^h 12.1^m$ E	

Tägliches Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Breite von Berlin. Länge v. Stargard.

St. Z.	☿ Morgenstern	♀ Abendstern	♂	♃	♄
Sept. 3.	A 4.0^h D_m 4.4^h	D_a 19.2^h U 19.7^h	—	D_a 19.7^h U 23.9^h	D_a 19.9^h U 20.7^h
„ 13.	A 3.8^h D_m 4.7^h	D_a 18.8^h U 19.5^h	—	D_a 19.3^h U 23.3^h	D_a 19.5^h U 20.1^h
„ 23.	A 4.5^h D_m 5.0^h	D_a 18.4^h U 19.2^h	—	D_a 18.9^h U 22.7^h	D_a 19.1^h U 19.5^h
Okt. 3.	—	D_a 18.1^h U 19.0^h	—	D_a 18.5^h U 22.1^h	D_a 18.7^h U 18.9^h
„ 13.	—	D_a 17.7^h U 18.8^h	—	D_a 18.1^h U 21.5^h	D_a 18.3^h U 18.3^h
„ 23.	—	D_a 17.3^h U 18.6^h	A $5{,}3^h$ D_m $5{,}4^h$	D_a 17.8^h U 20.9^h	D_a 18.0^h U 17.7^h
Nov. 2.	—	D_a 16.9^h U 18.3^h	A $5{,}3^h$ D_m $5{,}9^h$	D_a 17.5^h U 20.4^h	D_a 17.7^h

A = Aufgang; U = Untergang; D_a und D_m = Erscheinen bzw. Verschwinden in der Dämmerung.

W. Z. Merkur gr. westl. Elong. 17° 57′, Sept. 11. 0^h. **Jupiter** in Konjunktion mit dem **Mond**, Okt. 23, 17^h.

Herbstäquinoktium Sept. 23, 14^h. *A. Weill.*

Für die Redaktion verantwortlich: Geh. Studienrat Professor Dr. F. Poske, Berlin-Dahlem.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Univ.-Druckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.